
VITTORIO EM. III


Digitized by Google

PROGRAMMES

D'UN

COURS DE PHYSIQUE.

DE L'IMPRIMERIE DE P. GUEFFIER.

A PARIS,

De la Librairie de J. KLOSTERMANN Fils, Acquéreur du Fonds de madame veuve Bernard, Libraire des Ecoles impériales Polytechnique, et des Ponts-et-Chaussées, Editeur des Annales de Chimie, rue du Jardinet, n°. 13, quartier Saint-André-des-Arcs.

Et à Saint-Pétersbourg,

Chez Klostermann Père et Fils.

PROGRAMMES

D'UN

COURS DE PHYSIQUE;

OU

PRÉCIS DE LEÇONS

Sur les principaux Phénomènes de la Nature, et sur quelques applications des Mathématiques à la Physique;

PAR M. HACHETTE;

Instituteur à l'École impériale Polytechnique, Professeur de Mathématiques et de Physique des Pages de LL. MM. II. et RR.

A PARIS,

Chez Mme. Ve. BERNARD, Libraire, quai des Augustins, no. 25.

1809.

[illegible]

Le Conseil d'Instruction de l'Ecole Polytechnique a désiré qu'on réimprimât *le Précis des leçons sur le Calorique et l'Électricité*; pour rendre cet ouvrage plus utile aux Élèves, j'y ai fait quelques additions, dont voici les principales :

1°. La démonstration d'un Théorême de *M. Laplace*, sur l'ascension des Liquides dans les tubes capillaires;

2°. La description du Baromètre portatif de *Fortin*, avec la formule qu'a donnée *M. Laplace* pour appliquer cet instrument à la mesure des montagnes;

3°. L'explication de l'Arc-en-Ciel;

4°. L'explication du Mirage et du Bruit du Tonnerre, par *M. Monge*;

5°. L'instruction du Comité des Fortifications, sur la construction des Paratonnerres;

6°. La description d'un instrument propre à mesurer *l'inclinaison* de l'Aiguille aimantée;

7°. Des Tableaux contenant les Nombres dont on fait le plus souvent usage en Physique et en Chimie.

Pour présenter ces additions dans l'ordre qui m'a paru le plus convenable, j'ai rédigé douze Programmes qui comprennent les propositions principales de la Physique ; en m'occupant de cette rédaction, j'ai eu principalement pour objet, de remplir une obligation qui m'étoit imposée par ma place de Professeur de Mathématiques et de Physique de MM. les Pages.

TABLE

DES MATIÈRES.

(1) Pour le développement des Leçons 1 et 8, on doit recommander de lire l'ouvrage de M. BERTHOLLET, qui a pour titre *Statique Chimique*.

ERRATA.

Page 7, ligne 9, *au lieu de* Poids, *lisez* Volumes.

LEÇONS
DE PHYSIQUE.

PREMIÈRE LEÇON.

La Physique considère les propriétés générales des corps ; l'explication des phénomènes de la nature dépend de la connoissance de ces propriétés.

On entend par *corps*, la substance capable d'affecter un ou plusieurs de nos sens. Ils se présentent sous trois formes différentes, de solide, de liquide, et de *gaz* ou *air*.

Les corps sont organiques ou inorganiques. La classe des organiques comprend les animaux et les végétaux ; celle des corps inorganiques comprend les minéraux, les eaux qui couvrent la surface de la terre, l'air que nous respirons, et une foule de substances suspendues ou tenues en dissolution dans les eaux ou dans l'air.

On ne prendroit pas une idée juste des corps inorganiques, si on les considéroit comme incapables de toute action sur eux-mêmes. Quelque soient les dimensions d'un corps, on peut le concevoir divisé en une infinité d'autres corps de dimen-

sions moindres ; or, cette divisibilité n'a pas d'autre limite que le corpuscule, qui échappe par sa petitesse à nos sens. Ainsi, un corps quelconque peut être regardé comme composé d'une infinité de molécules dont les dimensions sont tellement petites, que nous ne pouvons plus les apprécier ; mais toutes ces molécules adhèrent les unes aux autres avec une certaine force qui dépend de la dureté du corps ; cette adhérence est due à une action réciproque de ses différentes parties ; c'est de cette action que dépend l'existence même du corps.

La force qui unit les molécules des corps, qui les fait adhérer les unes aux autres, se nomme *affinité*. Elle ne s'exerce qu'entre des molécules qui se touchent, ou dont la distance est inappréciable. L'affinité n'a pas seulement lieu entre les molécules homogènes d'un même corps ; deux corps d'espèce différente peuvent s'unir et former un nouveau corps, entièrement différent des deux premiers. Les effets résultant de l'affinité sont même beaucoup plus sensibles dans le dernier cas que dans le premier, et la Chimie en offre un grand nombre d'exemples.

L'action réciproque des corps se modifie de plusieurs manières : des liquides ou des gaz sont simplement mélangés, en conservant les propriétés qui les distinguent ; de petites parties solides sont tenues en suspension au milieu d'un liquide ; des molécules liquides troublent la transparence d'un gaz ; un liquide mouille la surface de quelques corps solides, et n'a aucune adhérence avec

celle d'autres corps; un liquide convertit un solide en un autre liquide; un solide ou un liquide prend la forme du gaz dont il est entouré; ces deux derniers changemens sont des effets d'affinité qu'on désigne par le mot *dissolution*. Lorsqu'il en résulte un corps très-différent des composans, on dit qu'il y a eu *combinaison*.

Un corps, soit qu'étant indécomposable, on le regarde comme *simple*, soit qu'il résulte de la combinaison d'un ou plusieurs autres corps, on le considère, dans les deux cas, comme composé de molécules dont la forme et les dimensions échappent à nos sens; pour distinguer les molécules du corps composé, des molécules des corps qui les ont formés, on nomme celles-ci *molécules élémentaires*, et les premières, *molécules intégrantes*. Les molécules élémentaires sont simples ou composées, selon qu'elles forment un corps simple ou composé.

D'après l'idée qu'on attache au mot *corps simple*, il n'y a pas de différence entre les molécules élémentaires de ce corps et ses molécules intégrantes.

L'affinité, en réunissant les molécules élémentaires, détermine d'abord la nature des molécules intégrantes et similaires d'un corps; ensuite elle produit leur adhérence ou *cohésion*; c'est cette force de cohésion qui détermine le plus ou le moins de dureté des corps.

Le spath adamantin et le saphir offrent l'exemple le plus frappant de la force de cohésion. Ces deux

substances sont extrêmement dures, elles rayent l'acier trempé, et cependant elles ne sont formées que d'une terre qu'on appelle *alumine* et qu'on obtient pure sous la forme de poussière. Si tous ces grains de poussière n'étoient séparés ni par l'air, ni par l'eau, ni par aucune autre substance, on conçoit que la seule force de cohésion pourroit les réunir et former des pierres précieuses susceptibles par leur dureté du plus beau poli.

Les sels sont le résultat de l'affinité qui s'exerce entre des molécules élémentaires d'espèces différentes. Le muriate de soude dont les mets sont assaisonnés, résulte de la combinaison de deux substances, la soude et l'acide muriatique, capables, l'une et l'autre prise séparément, d'agir très-fortement sur nos organes, et même de les détruire ; elles se neutralisent en se combinant, et forment une substance solide dont l'effet produit sur notre palais une saveur agréable. En général, les corps qui résultent de ces espèces de combinaisons, ont des propriétés qui les distinguent de leurs élémens; le savon, par exemple, est une combinaison d'huile et d'un alcali; il se dissout tout entier dans l'eau, tandis qu'un de ses élémens, l'huile, ne contracte qu'une foible union avec ce liquide.

S'il restoit encore quelques doutes sur l'action réciproque des corps, on citeroit la décomposition des sels formés d'un acide et d'un métal, par un second métal. Le premier métal reprend son état primitif, et le second forme avec l'acide un

nouveau sel différent du premier. Peut-on concevoir cette préférence d'un acide, pour un métal, sans admettre dans la matière des forces qui déterminent sa forme et les différens états dans lesquels on l'a observée jusqu'à présent.

Les corps célestes exercent les uns sur les autres une attraction dont la cause ne nous est pas plus connue que celle de l'affinité : elle en diffère, parce qu'elle agit à de très-grandes distances, telles que celle qui sépare la Lune et le Soleil de la terre.

Tout corps mis en mouvement tend à se mouvoir en ligne droite : cependant la Lune décrit une courbe autour de la terre ; on en conclut qu'elle est ramenée par une certaine force vers la terre : la terre décrit une courbe autour du Soleil, donc elle est attirée par le Soleil. Non-seulement les effets de l'attraction sont démontrés par l'expérience de tous les siècles, mais la loi d'après laquelle ces effets sont enchaînés et se succèdent les uns aux autres, est parfaitement connue ; on calcule exactement leur durée, et on prédit long-temps à l'avance tout ce qui est relatif aux mouvemens des corps célestes.

Si les lois de l'affinité étoient connues et soumises au calcul, les laboratoires de Chimie deviendroient des observatoires, où l'on vérifieroit, par l'expérience, les résultats de l'analyse appliquée à la Mécanique.

Un corps abandonné à lui-même est animé d'une force qui agit perpendiculairement à la sur-

face de la terre, et lui imprime un mouvement dans cette direction. Les effets qui résultent de cette force sont analogues à ceux qu'on observe lorsqu'on approche le fer d'une pierre d'aimant, ou qu'on met de la résine électrisée par le frottement sur la laine, en présence des corps légers.

Après avoir admis qu'il existe des forces par lesquelles les molécules des corps ou s'unissent ou adhèrent entr'elles, l'étude de la physique suppose qu'on ait des notions préliminaires sur les caractères extérieurs des corps. On entend par *caractères extérieurs* des corps, ceux qui nous les font reconnoître par le seul secours de nos organes. Leur classification d'après ces caractères, constitue ce qu'on nomme ordinairement l'*Histoire naturelle*. La différence entre les corps, qui frappe le plus nos sens, est celle qui résulte de leur état ou solide, ou liquide, ou gazeux. Les solides diffèrent par leur dureté ; tous les liquides cèdent à la plus petite force, qui tend à séparer leurs molécules. Les solides et les liquides varient en couleur : les gaz n'offrent pas autant de caractères pour les reconnoître ; cependant leur action sur notre organisation nous présente un moyen de les distinguer : tout le monde sait que l'air qui a servi à la combustion du charbon, asphixie ; l'air d'un appartement occupé par un grand nombre de personnes, devient moins propre à la respiration : des gaz qui se dégagent de certains marais, s'enflamment : tous les phénomènes qui se passent habituellement sous nos yeux, nous prouvent qu'il y a différens gaz.

Des recherches plus savantes sur leur nature, ont fait découvrir des propriétés qui les distinguent; on leur a assigné des noms, et leur description fait actuellement partie des Élémens d'histoire naturelle.

On distingue dans l'air atmosphérique que nous respirons, deux airs, l'un qu'on appelle gaz *oxigène*, et qui sert à la combustion; l'autre, qui se nomme gaz *azote*. Les poids de ces deux gaz qui constituent un volume quelconque de l'atmosphère, sont dans le rapport de 27 à 73.

On a reconnu que l'air des marais renfermoit un gaz particulier, inflammable; on lui a donné le nom de gaz *hydrogène*, parce qu'il est un principe de l'eau. L'air méphitique qui résulte de la combustion du charbon a été nommé gaz *acide carbonique*. La partie oxigène de l'air atmosphérique que nous respirons, se change en ce dernier gaz dans nos poumons.

La découverte des propriétés du gaz oxigène est la plus importante de ce siècle; elle a conduit à l'explication des phénomènes de la combustion, et de ce qu'on appelle vulgairement *le Feu*. L'action de ce gaz sur les différens corps de la nature a amené leur division en deux classes, celle de corps combustibles ou oxidables, et celle de corps non combustibles ni oxidables.

Le gaz hydrogène, le charbon, le soufre, sont des corps combustibles simples, qui se produisent naturellement.

Les produits de la combustion de ces trois sub-

stances sont : 1°. l'eau, 2°. le gaz acide carbonique ; 3°. le gaz acide sulfureux, et l'acide sulfurique (dans le commerce, l'huile de vitriol).

Les métaux sont des corps combustibles et oxidables ; le rouge de fer, ou rouge d'Angleterre, est une combinaison du fer et du gaz oxigène ; c'est un oxide de fer.

Les terres ne sont ni combustibles ni oxidables, on soupçonne qu'elles sont des oxides métalliques, portés au plus haut degré d'oxidation.

Les acides tels que l'acide sulfurique, sont des produits de combustion ; ils forment par leur combinaison avec les métaux et les terres, des substances salines.

DEUXIÈME LEÇON.

De l'Étendue et de la Figure des Corps.

Tous les corps sont étendus : le volume d'un corps est la partie de l'espace que ce corps occupe; sa surface est l'enveloppe de ce même espace. Les surfaces de quelques corps, et principalement de ceux qu'on emploie dans les arts de construction, sont susceptibles d'une définition rigoureuse. Tels sont la sphère, le cône, le cylindre droit, le polyèdre à faces planes. Les corps dans leur état naturel sont pour la plupart terminés par des surfaces formées d'après des lois qui ne sont pas connues. La mesure des surfaces et des solides dont la génération est connue, est l'objet d'une partie de la Géométrie et de l'analyse appliquée à la Géométrie.

La sphère est, de tous les corps ronds ou terminés par des surfaces courbes, celui dont l'idée est la plus simple. Lorsqu'on observe le ciel et le mouvement des corps célestes, on est porté à regarder la surface sphérique comme la figure primitive des corps. Les anciens géographes ont considéré la terre comme sphérique, et cette hypothèse, qui ne s'écarte pas beaucoup de la vérité, a servi de base pour obtenir la première estimation de la grandeur de la terre. Le moyen d'estimer cette grandeur est fondé sur une proposition très-simple de Géométrie. Ayant admis

qu'un fil aplomb, soutenu par l'une de ses extrémités, se dirige vers le centre de la terre, le plan mené par le fil coupe la surface de la terre suivant un grand cercle. Ayant mesuré un arc quelconque de ce grand cercle, il ne s'agit plus que de connoître le rapport de cet arc à la circonférence entière; or, deux rayons visuels, menés en même temps des deux extrémités de cet arc à une étoile quelconque, sont parallèles entr'eux à cause du grand éloignement de l'étoile; donc, si on a mesuré l'angle de chaque rayon visuel avec la verticale, la différence des deux angles donnera le rapport de l'arc de la terre mesuré, à la circonférence entière. C'est ainsi que Picard a trouvé (années 1669 et 1670) pour la longueur d'un degré du méridien mesuré entre Paris et Amiens, 57060 toises, la toise rapportée au système métrique étant de 1,949 mètre; ces mêmes opérations ont offert le moyen de vérifier l'hypothèse de la sphéricité de la terre, en comparant le nombre de degrés des arcs d'un même grand cercle à leurs longueurs: le changement de rapport entre les degrés et leurs longueurs a prouvé que la terre n'étoit pas sphérique. Pour en connoître la véritable figure, l'Académie des Sciences de Paris nomma, en 1730, des Commissaires chargés de mesurer des arcs des méridiens correspondans à des lieux fort éloignés les uns des autres. Le travail de cette Commission a confirmé une conclusion à laquelle plusieurs géomètres étoient déjà arrivés par des raisonnemens fondés sur les lois du mouvement : *Que*

la figure de la terre différoit peu d'un sphéroïde aplati vers les pôles?

Ceux qui ont lu les relations des Voyages publiés par MM. les Commissaires de l'Académie, ont appris ce que peut l'amour de la vérité sur les hommes capables de la découvrir. Les dangers, les peines, les contrariétés de toute espèce n'ont pu rallentir le zèle des Savans que l'Académie avoit honorés de sa confiance. La Commission destinée pour le Nord étoit composée de MM. Maupertuis, Clairault, Camus et Lemonnier. Ses opérations ont commencé le 6 juillet 1736, à Tornéa, latitude de 65° 50′ 50″ (la circonférence étant divisée en 360°); elles furent terminées en 1737. L'arc du méridien mesuré entre Tornéa et Kittis, villes de Laponie, étoit de 57′ 28″ $\frac{3}{4}$. La longueur de cet arc étant de 55023 toises et demie, celle de l'arc d'un degré pour cette même latitude est de 57437 toises.

La Commission destinée pour l'Équateur étoit composée de MM. de la Condamine, Bouguer et Godin. Elle partit de France le 16 mai 1735. M. Bouguer fut de retour en juin 1744; M. de la Condamine en février 1745, et M. Godin débarqua à Lisbonne en 1751. Ils ont mesuré un arc de 3° 7′ 1″ sur le méridien de Quito, ville du Pérou, à la latitude méridionale de 13° 17′. La mesure géométrique de cet arc étant de 176950 toises, on a conclu que la longueur du degré pour cette même latitude étoit de 56750 toises; or, d'après Picard et la Commission du Nord, le degré, aux latitudes de

49° et de 65° 51′, a pour mesure 57060 toises et 57437 toises; d'où il résulte que la terre a la forme d'un solide sensiblement aplati vers les pôles.

On a supposé que sa véritable figure étoit celle d'un ellipsoïde de révolution; on en a déterminé les axes par les mesures d'arcs de méridiens considérés comme les génératrices de l'ellipsoïde; mais des opérations géodésiques exécutées dans ces derniers temps sur le méridien de Paris, avec l'exactitude que comportent les nouveaux instrumens, et les connoissances astronomiques, ont fait découvrir dans la figure de la terre des irrégularités qui ne s'accordent pas avec l'hypothèse de l'ellipsoïde. Il résulte du rapport fait à l'Institut national, le 29 prairial an 7 (17 juin 1799), que la méridienne entre Dunkerque et Montjouy, mesurée par MM. Méchain et Delambre, pendant les sept années de 1792 à 1799, correspond à un arc de 9°, 6738, dont le milieu passe à 46° 11′ 5″ de latitude; que la longueur de cet arc est de : 551584,72 toises; enfin, que le degré moyen a pour longueur, savoir :

A la latitude boréale de:

49° 56′ 30″	57076
47° 30′ 46″	57066
44° 41′ 4″	56978
42° 17′ 20″	56944

Les travaux de MM. Biot et Arago, chargés de continuer la mesure du méridien de Paris jusqu'aux îles Baléares, jeteront un nouveau jour sur la question de la figure de la terre.

Le rapport du 17 juin 1799 qu'on vient de citer, a été fait au nom d'une commission composée de quinze membres de l'Institut national et de douze Savans étrangers. Le travail de cette Commission avoit pour objet de fixer l'unité de longueur et de poids ; elle a pris pour la première de ces unités qu'on nomme *mètre*, la dix-millionième partie du quart du méridien de Paris. Le degré moyen de ce méridien, calculé d'après les mesures géodésiques, ayant été estimé de 57008 toises, il suit que le mètre comparé à la toise (1) est de : 0,513074 toise, ou 443,296 lignes.

Nous verrons plus tard comment on a fixé les unités de poids et de volume, en les faisant dépendre de l'unité métrique.

Les inégalités qu'on remarque à la surface de la terre, et qui constituent les montagnes et les vallées, ont aussi une figure dépendante des forces qui les ont produites et des substances dont elles sont formées. La nature de ces forces, ainsi que les lois qu'elles suivent dans leurs actions, nous sont inconnues, et le résultat de toutes les observations sur les inégalités de la terre se réduit à des calculs de distances et à des descriptions minéralogiques relatives à chaque montagne considérée isolément. Cependant on a remarqué que les terres les plus élevées au-dessus du niveau des mers sont situées vers l'Équateur. On estime la hauteur de Chimboraço de 3357 toises. Les montagnes de France les plus élevées sont le grand Saint-

(1) Cette toise est en fer, pris à la température de 16° $\frac{1}{4}$.

Bernard des Alpes, le Mont-Perdu des Pyrénées; le Mont-Blanc, dont les hauteurs au-dessus du niveau de la mer, sont exprimées en toises par les nombres 1246, 1763 et 2446.

Un fait encore assez remarquable sur la figure des montagnes, c'est la correspondance des angles. Lorsqu'on traverse une longue vallée, par exemple celle qui est baignée par le Rhône avant que ce fleuve se jette dans le lac de Genève, on peut se croire transporté dans le chemin couvert d'une place fortifiée. Le contour du Vallais, qui s'étend du nord au sud, est terminé par des inégalités alternativement saillantes et rentrantes, et tellement disposées, que le rentrant d'un des côtés correspond à un saillant de l'autre; cette correspondance est d'autant moins sensible, que la largeur des vallées est plus considérable.

Pour comparer la plus grande inégalité de la terre au rayon de cette planète supposée sphérique, on a vu précédemment que le degré moyen d'un cercle terrestre est de 57008 toises; le rapport de la hauteur 33357 toises du Chimboraço au degré moyen, est de 0,062; d'où l'on voit qu'en représentant la terre par un globe de 36 mètres en circonférence, ou de 1,15 mètre de diamètre, la plus haute montagne correspond sur ce globe à une élévation d'environ six millimètres. Quelque petites que soient les inégalités de la terre, elles sont nécessaires pour la conservation des animaux terrestres; car si elles n'existoient pas, la surface de cette planète seroit entièrement recouverte d'eau sur une assez grande profondeur.

TROISIÈME LEÇON.

Suite de l'Etendue et de la Figure des Corps.

Les phénomènes relatifs à la formation du globe terrestre, et des grandes masses qui dominent le niveau des mers, sont l'objet d'une science qu'on nomme *Géologie* ; l'explication de ces phénomènes a donné lieu à plusieurs systêmes ingénieux, mais dénués de preuves suffisantes pour être adoptés. La théorie de la formation des petites masses connues sous le nom de *cristaux*, n'étoit pas plus avancée il y a quelques années ; la *cristallographie* étoit cultivée comme une science d'observation, qui présente un grand nombre de faits ; elle se réduisoit à une classification plus ou moins méthodique. C'est seulement de nos jours que M. Haüy a posé les principes de cette science sur la base la plus certaine de nos connoissances, la géométrie.

De la Figure des Corps cristallisés.

Toute substance inanimée, composée de parties entre lesquelles il y a une certaine symétrie de forme ou de position, se nomme *cristal* (1). Les

(1) On emploie quelquefois ce mot dans un autre sens, pour désigner une composition vitreuse dont on fait des lustres, des gobelets, etc.

faces d'un cristal sont le plus souvent planes : sa figure est, dans ce cas, celle du solide qu'on nomme en géométrie *Polyèdre.*

L'arrangement symétrique des parties d'un cristal dépend d'un grand nombre de causes ; la principale est cette force attractive dont il a déjà été question dans la première leçon, qui réunit les molécules des corps, et les fait adhérer les unes aux autres. Les cristaux qui se forment sous nos yeux, ou naturellement, ou par l'art, sont les résultats d'une évaporation ou d'un refroidissement : les sels cristallisent par évaporation, les métaux par refroidissement : la recherche des circonstances qui favorisent le plus la cristallisation, appartient à la chimie (1). Lorsque cette opération a lieu par la voie humide, les molécules des sels tenus en dissolution par un liquide, se rapprochent, se groupent les unes aux autres, et tapissent les parois du vase qui contient le liquide. Quelque favorables que soient les circonstances qui déterminent la réunion des molécules d'un même sel, l'arrangement régulier et symétrique de ces molécules dépend essentiellement de trois choses, *temps, espace, repos :* si l'une d'elles manque, la forme des cristaux sera incomplette ; on y distinguera à peine de petites facettes, lisses et bril-

(1) Voyez l'ouvrage de M. Leblanc, imprimé en 1802, sous le titre de *cristallotechnie;* l'auteur a obtenu, par sa méthode, des cristaux d'alun et de muriate de soude, remarquables par leur grosseur.

lantes, dont la position respective ne présentera aucune espèce de symétrie.

La cristallisation par évaporation suppose que le sel cristallisant est tenu en dissolution par un liquide; cependant la nature nous offre des cristaux qu'aucun liquide connu ne peut dissoudre, et qui résistent au plus grand feu, tel est le cristal de roche. Quoique le dissolvant de cette substance soit inconnu, on est porté à croire que ce qui se passe en petit dans les laboratoires, est une imitation exacte des grandes opérations de la nature.

Depuis long-temps on savoit que le même sel varioit dans la forme de sa cristallisation. Le muriate de soude (sel de cuisine) cristallise en cube, et souvent on aperçoit sur une des faces de ce cube une pyramide qui a pour base cette face, et qui est tronquée en forme de trémie. L'alun cristallise en cube et en octaèdre régulier. La chaux carbonatée est la substance qui présente le plus de variétés dans la forme de ses cristaux; on la trouve sous la forme d'un parallélipipède dont les faces sont des rhombes, tel est le cristal d'Islande à double réfraction; en dodécaèdre composé de douze triangles égaux; en prisme droit hexaèdre, etc.

Cette variété dans les formes d'une substance qu'on regardoit comme la même, a fait naître une question extrêmement importante; on s'est demandé si le changement de forme n'indiquoit pas une différence, soit dans les principes qui consti-

tuent la substance, soit dans les proportions de ces principes ; mais l'analyse chimique ayant prouvé que des cristaux de formes différentes étoient composés des mêmes élémens, il fallut avoir recours à une autre cause, pour expliquer ce changement de figure. Bergman, considérant cette question sous un nouveau point de vue, a publié dans le recueil de l'Académie d'Upsal, pour 1779, un Mémoire dans lequel il regarde un cristal quelconque de spath calcaire ou de chaux carbonatée, comme composé de lames parallèles placées en différens sens, qui enveloppent un *autre cristal dont la forme est constante pour la même substance.*

Cette première idée, à laquelle le chimiste suédois donna très-peu de développemens, fut suivie d'une théorie complète de la cristallisation, que son auteur, M. Haüy, a exposée dans un ouvrage particulier, imprimé en 1784. L'introduction à cet ouvrage fait connoître une de ces circonstances qu'on attribue ordinairement au hasard, qui cependant ne se présentent qu'aux hommes qui par leur génie et leur instruction sont capables de les faire servir aux progrès des sciences. Voici comme M. Haüy parle de la découverte de sa théorie :

« Une observation que je fis sur le spath cal-
» caire en prisme à six pans, terminé par deux faces
» exagones, me suggéra l'idée fondamentale de
» toute la théorie dont il s'agit ; j'avois remarqué
» qu'un cristal de cette variété, qui s'étoit détaché
» par hasard d'un groupe, se trouvoit cassé obli-

» quement de manière que la fracture présen-
» toit une cassure nette, et qui avoit un brillant
» auquel on reconnoît le poli de la nature ;
» j'essayai si je ne pourrois pas faire dans ce
» même prisme des coupes dirigées en d'autres
» sens ; et après différentes tentatives, je parvins
» à obtenir de chaque côté du prisme trois sections
» obliques; et par de nouvelles coupes parallèles
» aux premières, je détachai un rhomboïde par-
» faitement semblable au spath d'Islande, et qui
» occupoit le milieu du prisme. Frappé de cette
» observation, je pris d'autres spaths calcaires,
» tels que celui qui forme un rhomboïde à angles
» très-obtus, celui dont la surface est composée
» de douze plans pentagones, et j'y retrouvai le
» même noyau rhomboïdal, qui m'avoit offert le
» prisme dont j'ai parlé plus haut. . . . .
» Je crus alors être fondé à établir ce principe
» général, *que toute variété d'un même cristal*
» *renfermoit, comme noyau un cristal qui avoit*
» *la forme primitive et originaire de son genre.*»

Ce principe a dirigé M. Haüy dans l'examen des substances cristallisées. L'existence d'un grand nombre de formes primitives auroit rendu l'application de ce principe difficile; heureusement toutes celles observées jusqu'à présent se sont réduites à six, savoir : le tétraèdre, le parallélipipède, l'octaèdre, l'hexaèdre régulier, le dodécaèdre à plans rhombes, le dodécaèdre à plans triangulaires ; rien ne limite le volume des solides de forme primitive ; on peut les réduire à des

dimensions aussi petites qu'on voudra, en les divisant convenablement dans le sens des lames qui les composent; chaque lame peut elle-même être regardée comme composée d'une infinité de solides semblables au noyau; mais lorsqu'un noyau a plusieurs faces parallèles à un même plan, le nombre de ses faces peut diminuer, et dans ce cas il éprouve un changement de forme avant d'arriver à la limite de sa réduction. Un cube, par exemple, un parallélipipède étant coupé à-la-fois parallèlement aux six faces qui le terminent, il en résulte un autre cube ou un autre parallélipipède qui ne diffère du premier que par les dimensions; lorsque le noyau est un prisme hexaèdre régulier, l'axe du noyau est l'axe commun d'une infinité de prismes hexaèdres semblables, qui croissent depuis cet axe, jusqu'aux faces du noyau proposé; mais si on coupe ce prisme parallèlement à ses faces, il y aura une infinité de systêmes de plans qui, pris trois à trois, comprendront un prisme, dont la base sera un petit triangle équilatéral tracé sur la base du prisme hexaèdre, et qui aura même hauteur que ce dernier prisme. Un octaèdre régulier se réduit de même à un tétraèdre régulier, parce que les huit faces de cet octaèdre sont parallèles à quatre plans.

La molécule à laquelle on parvient en divisant un noyau parallèlement à ses faces, se nomme *molécule intégrante*. La forme de cette molécule diffère en général de la forme du noyau; et dans quelques cas, ces deux formes sont les mêmes.

Lorsqu'un cristal est formé d'une seule substance, sa molécule intégrante ne diffère pas de ce qu'on appelle sa *molécule élémentaire;* s'il est formé de plusieurs substances, l'union des molécules élémentaires de ces substances produit les *molécules intégrantes.*

Nous venons de voir que toutes les formes primitives des noyaux se réduisoient à six; il y a un résultat d'observation non moins étonnant, c'est que toutes les formes des molécules intégrantes se réduisent à trois, savoir, le tétraèdre, le prisme triangulaire, le parallélipipède; et parce qu'on a remarqué que les molécules *tétraèdres* ou *prismes triangulaires* peuvent toujours se grouper de manière à former des parallélipipèdes aussi petits qu'on voudra, il s'en suit qu'un noyau quelconque peut être regardé comme composé de lames parallèles à ses faces, et chaque face comme un assemblage de molécules *parallélipipèdes;* en sorte qu'étant donné une collection de ces molécules, on peut construire le noyau, comme on bâtiroit un monument dont toutes les parties seroient données de forme et de position.

De la variété des Cristaux d'une même substance, simple ou composée.

Tous les cristaux d'une même substance contiennent le même noyau, mais leur forme extérieure varie; et il y a telle substance, par exemple, la chaux carbonatée, dont on connoît plus de vingt formes différentes. Quelle que soit la figure

extérieure d'un cristal, il ne peut être divisé par lames que suivant des directions parallèles aux faces du noyau; c'est du changement qu'éprouvent successivement les lames parallèles aux faces de ce noyau, que résultent tous les cristaux dont la forme diffère de la sienne, et que par cette raison on a nommés *cristaux secondaires.*

Du passage de la forme primitive d'un Cristal à sa forme secondaire.

Les lames du noyau sont composées de molécules *parallélipipèdes*, qu'on peut aussi nommer, comme M. Haüy, *molécules soustractives*, par la raison que c'est de leur soustraction sur les lames du noyau que résulte la figure des faces des cristaux secondaires; le passage de la forme primitive à la forme secondaire dépend donc de l'ordre d'après lequel cette soustraction se fait. L'immense variété des cristaux pourroit faire croire que les lois de structure ou d'arrangement dans les molécules soustractives étoient très-compliquées; M. Haüy les a réduites aux deux suivantes :

Première loi. Décroissement sur les bords du noyau.

Seconde loi. Décroissement sur les angles du noyau.

Du décroissement sur les bords du Noyau.

Les bords du noyau sont formés des côtés semblables des *molécules parallélipipèdes* qui composent les lames extérieures. La hauteur de ces

lames et de leurs parallèles est constante et égale à celle des molécules, mais la figure de deux lames parallèles et consécutives varie, parce que la première a de plus, ou de moins que la seconde, *une et même plusieurs rangées de molécules parallèles aux bords;* le nombre de rangées ainsi ajoutées ou soustraites, exprime l'*accroissement* ou le *décroissement en largeur*. La largeur des lames ne changeant pas, si elles sont superposées, leur assemblage peut être considéré comme une seule *tranche*, dont la hauteur est double, ou triple, ou etc., de la hauteur des molécules; le nombre qui indique le rapport de ces deux hauteurs est l'expression de *l'accroissement en hauteur* dans le passage d'une tranche à la suivante; ces deux espèces de changement en hauteur et largeur, peuvent avoir lieu pour chaque face du Noyau; ils peuvent varier d'un bord à l'autre de la même face, et sur les bords des faces différentes. Il paroît constant, d'après l'observation, que les nombres entiers qui expriment ces changemens, sont renfermés entre des limites très-rapprochées; ils varient ordinairement de 1 à 5, et il est très-rare qu'ils aillent jusqu'à six.

Du décroissement sur les angles du Noyau.

Considérant sur un noyau l'une de ses faces extérieures, on conçoit sur cette face une droite inclinée par rapport aux bords, et qui joint les points homologues des molécules parallélipipèdes qui la composent; lorsque la soustraction ou l'ad-

dition des molécules sur les lames se fait parallèllement à cette droite, il en résulte ce qu'on appelle *décroissement* ou *accroissement* sur l'angle du Noyau ; à chaque système de lames parallèles, correspond une droite de direction donnée, qui détermine le sens des molécules soustraites ou ajoutées ; il y a pour cette espèce de décroissement comme pour le premier, les changemens en hauteur et en largeur, qu'on exprime aussi en nombres ; la largeur se mesure sur une perpendiculaire à la droite, suivant laquelle la soustraction des molécules se fait, et la hauteur sur la droite perpendiculaire à la tranche qu'on considère. Les droites dans le sens desquelles la soustraction des molécules a lieu, remplacent les bords du Noyau dans la première loi de décroissement, et si l'une de ces droites directrices change, les hauteurs et largeurs des tranches peuvent aussi changer.

Dans ce second mode de décroissement, les molécules qui terminent les lames du cristal secondaire se touchent par leurs arêtes ; il y a d'une molécule à l'autre un petit vide angulaire, résultant d'une molécule soustraite, comme il y a, d'après le premier mode de décroissement, une discontinuité dans les lames qui se succèdent, semblable à celle des marches d'un escalier. Cette discontinuité n'est pas apparente à la vue simple dans les cristaux naturels : elle est très-sensible dans les modèles de cristaux, parce qu'on les construit avec des *parallélipipèdes*, dont les dimen-

sions sont tellement grossies, qu'elles ne sont plus comparables à celles des molécules élémentaires des cristaux naturels.

On fait voir pour l'intelligence de cette leçon, les cristaux que M. Haüy désigne comme ceux pour lesquels les deux modes de décroissement sont les plus apparens.

Le spath boracique présente un exemple de *décroissement* sur les bords; son noyau est un cube; si par chaque arète du cube, on mène un plan formant avec les deux faces dont cette arète est l'intersection des angles égaux, les plans menés par les douze arêtes comprendront un dodécaèdre à plans rhombes, dont chaque angle solide sera le sommet d'une pyramide droite, qui a pour base une des faces de ce cube.

Dans la pyrite ferrugineuse, le noyau est encore un cube; sa forme secondaire est un dodécaèdre à plans pentagones; pour l'obtenir, on mène par chaque arête du noyau un plan qui forme avec les deux faces du cube, dont cette arête est l'intersection, des angles inégaux. Ces angles sont tels que le rapport du sinus du premier à son cosinus étant $\frac{1}{2}$, ce rapport pour le second est $\frac{2}{1}$; en sorte que si on nomme a, a', b, b', les quatre côtés d'une face du cube, les plans menés par les arêtes parallèles a, a' font avec le plan de cette face le premier angle, et les plans menés par b, b', font avec ce même plan le second angle.

La même pyrite offre un exemple d'un *décroissement* sur l'angle; huit plans parallèles deux à

deux, et menés par les extrémités des quatre diagonales du noyau perpendiculairement à ces diagonales, comprennent l'octaèdre régulier, qui est la forme secondaire dérivée du noyau cubique. Le décroissement sur l'angle est accompagné, dans ce cas particulier, d'un accroissement sur les bords; on appelle en général *formes secondaires composées*, celles qui résultent de plusieurs lois simultanées de décroissement, ou d'une seule loi dont l'effet n'est pas complet; la nature présente une foule d'exemples de ces dernières formes.

Parmi les circonstances qui déterminent la cristallisation des sels tenus en dissolution par un liquide, il y en a une dont on connoît depuis long-temps l'influence; c'est la présence d'un corps hérissé de pointes au milieu d'un liquide saturé du sel qu'il s'agit de faire cristalliser. Dans les fabriques d'alun et de sel marin, les cristallisoirs sont garnis de fils ou petites cordes, suspendus verticalement; les molécules cristallines s'attachent aux extrémités des barbes de ces fils, et deviennent les noyaux des cristaux qu'on voit dans le commerce.

QUATRIÈME LEÇON.

De la Mobilité.

La mobilité est cette faculté qu'ont les corps, de changer de situation par rapport à un système de corps que nous jugeons en repos. Ces mouvemens sont ou relatifs ou absolus. Ceux qu'on observe sur un vaisseau mû par l'action des voiles, sont relatifs, parce qu'on juge le vaisseau en repos, quoiqu'il n'y soit pas réellement. Le mouvement du vaisseau est aussi relatif, parce qu'il se meut sur la surface de la mer qui tourne autour de l'axe de la terre, dont le centre se meut autour du soleil. Pour concevoir un terme à ces mouvemens, et pour arriver à des points fixes d'où l'on puisse compter le mouvement absolu des corps, on imagine un espace sans bornes, immobile et pénétrable à la matière; c'est aux parties de cet espace réel ou idéal que nous rapportons, par la pensée, la position des corps, et nous les concevons en mouvement, lorsqu'ils répondent successivement à divers lieux de cet espace.

La cause en vertu de laquelle un corps est transporté d'un lieu dans un autre, est désignée sous le nom de *force*.

Des Forces.

L'effet d'une force agissante sur un point ma-

tériel, est de le mettre en mouvement si rien ne s'y oppose; la direction de la force est la droite qu'elle tend à lui faire décrire.

Deux forces égales et de même direction agissant sur le même point, représentent une force double de chacune d'elles: il en est de même de 3, 4, 5, etc., forces égales et de même direction; elles représentent une force 3, 4, 5, etc. fois plus grandes que chacune d'elles; ainsi lorsqu'on dit qu'une force est triple d'une autre, on entend qu'elle tient lieu de trois forces égales et de même direction, qui agissent simultanément sur un point matériel. La nature de la force étant inconnue, on ne peut pas assurer, *à priori*, que l'action simultanée de trois forces égales et de même direction produise un effet triple de celui que produiroit l'action successive de ces mêmes forces; ainsi on doit avoir recours à l'expérience pour déterminer le rapport des forces et de leur action.

Si deux forces agissent en sens contraires sur un point matériel, il ne se meut qu'en vertu de leur différence, et il reste en repos si elles sont égales: lorsque deux forces sont appliquées au sommet d'un angle, dans la direction des côtés de cet angle, leur résultante prend une direction moyenne, et l'on démontre qu'elle est représentée en direction et en quantité par la diagonale du parallélogramme construit sur les côtés de l'angle avec des droites proportionnelles aux composantes. Quel que soit le nombre de forces agissant

sur un point, on en trouvera la résultante, en combinant la résultante des deux premières avec la troisième, la résultante des trois premières avec la quatrième, et ainsi de suite.

Il est à remarquer que cette composition des forces par le parallélogramme, est indépendante du rapport qui existe entre les forces et les effets observés de ces forces.

De la Manière de comparer les Forces agissantes sur des Points matériels.

Lorsque des points matériels placés en ligne droite ont été mis en mouvement par une force dirigée suivant cette même droite, chacun d'eux parcourt le même espace dans un temps déterminé; le rapport constant du nombre qui mesure l'espace parcouru, à celui qui indique le temps employé à le parcourir, est ce qu'on nomme la *vitesse* du corps, et on appelle *quantité de mouvement* le produit de cette vitesse par un nombre proportionnel à celui des molécules matérielles mises en mouvement. On démontre que ces quantités de mouvement peuvent être prises pour les mesures des forces qui les ont produites.

Des Lois du mouvement d'un Point matériel, déduites de l'expérience.

L'inertie est la première loi du mouvement; la continuité du mouvement des corps célestes en est la preuve la plus manifeste.

Un point en repos ne peut se donner aucun mouvement, car il ne renferme en lui aucune cause de mouvement dans un sens plutôt que dans un autre; lorsqu'il est sollicité par une force quelconque et ensuite abandonné à lui-même, il se meut constamment et d'une manière uniforme dans la direction de cette force; cette tendance de la matière à persévérer dans son état de repos ou de mouvement uniforme, est ce que l'on nomme *inertie*.

Si pour le mouvement uniforme, on représente le temps du mouvement par le côté d'un parallélogramme rectangle, et la vitesse constante par le second côté, l'aire du parallélogramme est proportionnelle à l'espace parcouru.

De la Communication du Mouvement entre des Points de différentes masses.

Considérons l'action de deux points matériels de masses différentes et qui se meuvent uniformément sur une même droite; le premier aura une quantité de mouvement exprimée par sa masse multipliée par sa vitesse; le second aura une autre quantité de mouvement exprimée de la même manière; la première quantité du mouvement étant prise positivement, la seconde sera positive ou négative, selon que le second point se mouvra dans le même sens, ou dans un sens contraire à celui du premier. Qu'on suppose maintenant que les deux points matériels se rencontrent et continuent à se mouvoir ensemble; d'après la loi de l'inertie, les

quantités de mouvement doivent rester les mêmes; or, après s'être rencontrés, la quantité de mouvement est égale à la somme des masses des points par leur vitesse commune ; donc cette vitesse commune est égale à la somme des quantités de mouvement primitives, divisée par la somme des masses.

Seconde loi du Mouvement d'un Point matériel.

La force est proportionnelle à la vitesse ; tel est l'énoncé de la seconde loi du mouvement, déduite de l'expérience.

On observe sur la terre qu'un corps sollicité par une force quelconque, se meut de la même manière, quel que soit l'angle que la direction de cette force fait avec la direction du mouvement commun au corps et à la partie de la surface terrestre à laquelle il répond: une légère différence dans les effets de la force, à raison de ce changement d'angle, seroit rendue très-sensible par l'expérience du pendule; or, la durée des oscillations du pendule est exactement la même, quel que soit le plan vertical dans lequel il oscille. Sur un vaisseau soumis à l'action du vent, un corps mis en mouvement par l'action d'un ressort, de la pesanteur ou de toute autre force, se meut, relativement aux parties du vaisseau, d'une manière qui ne dépend ni de la vitesse du vaisseau, ni de sa direction. On peut donc établir comme un *principe,* que si, dans un système de corps emportés d'un mouvement commun, on

imprime à l'un d'eux l'action d'une force quelconque, son mouvement relatif ou apparent sera le même, quel que soit le mouvement général du système, et l'angle que fait sa direction avec celle de la force imprimée. La proportionnalité de la vitesse est une conséquence de ce principe; car si l'on conçoit deux corps égaux en mouvement sur une même droite, et animés par des forces égales, la différence de leurs vitesses est évidemment nulle, comme si les deux corps étoient en repos; mais si l'un de ces corps reçoit l'action d'une force quelconque, l'accroissement de vitesse qu'il acquerra sera le même, soit que les deux corps soient en repos ou en mouvement, c'est-à-dire que l'espace décrit dans l'unité du temps par le corps soumis à deux forces, est égal à la somme des espaces que chacune d'elles eût fait décrire séparément, ce qui ne peut arriver que parce que les forces sont proportionnelles aux vitesses qu'elles impriment.

Il suit de cette loi que les vitesses se composent comme les forces, qu'ainsi deux vitesses étant représentées par les deux côtés d'un parallélogramme, la vitesse résultante sera représentée en quantité et en direction par la diagonale de ce parallélogramme. Une autre conséquence de cette loi, est que les quantités de mouvement produites par des forces agissantes en lignes droites sur des points matériels rangés suivant ces droites, peuvent être prises pour la mesure de ces forces.

Du Mouvement varié d'un Point matériel.

Un point soumis à plusieurs forces constantes ou variables, et d'intensité et de direction, décrit une ligne courbe plane, ou à double courbure; le mouvement de ce point est varié, il dépend des lois que suivent les forces qui agissent sur le point.

Pour avoir la vitesse du point mobile après un temps donné, il faut concevoir que toutes les forces auxquelles il étoit soumis, cessent leur action; d'après la loi de l'inertie, le point continuera à se mouvoir uniformément, et la direction de son mouvement sera évidemment celle de la tangente à la courbe décrite dans le mouvement varié; le rapport de l'espace décrit uniformément suivant cette tangente, au temps employé à le parcourir, est la *vitesse* du point mobile.

Lorsqu'un point matériel éprouve l'action continue d'une même force, dont la direction est constante, on dit que son mouvement est uniformément varié; la force à laquelle il est soumis se nomme *force accélératrice;* il est évident que dans cette espèce de mouvement, *les temps employés à parcourir les espaces sont proportionnels aux vitesses qu'a le point mobile, après avoir parcouru ces espaces.*

De la Gravité ou Pesanteur.

La gravité agit perpendiculairement à la surface de la terre, sur toutes les molécules des

corps, quel que soit leur état, ou solide, ou liquide, ou gazeux; elle est constante pour un lieu déterminé de la terre.

Le *poids* d'un corps est la résultante des forces égales à la gravité, qui agissent sur toutes ses molécules. De quelque manière qu'on change la position d'un corps, son poids ne varie pas, mais la direction de ce poids, qui est celle d'une droite perpendiculaire à la surface de la terre, change par rapport à la surface du corps pesant. On démontre en Statique que toutes les directions du poids d'un corps passent par un même point, qu'on nomme *le centre de gravité* de ce corps; d'où il suit que pour déterminer ce centre, sur un corps de figure quelconque, homogène ou non homogène, il suffit de le suspendre à un fil par deux points pris à volonté à sa surface; les directions que ce fil prendra en tenant le corps suspendu, se rencontreront en un point qui sera le centre de gravité demandé.

La *masse* d'un corps est l'assemblage des molécules matérielles qui le composent; la gravité agissant également sur toutes les molécules de ce corps, son poids est proportionnel à sa masse; d'où il suit qu'ayant pris la masse d'un corps déterminé pour unité de poids, la comparaison des poids des deux corps donnera le rapport de leurs masses; lorsque les deux corps sont de même volume et que chacun d'eux est homogène, ce rapport se nomme *densité*.

Du Mouvement d'un Corps grave.

Dans le mouvement d'un corps grave, les espaces sont comme les carrés des temps.

Dans le mouvement uniforme, les espaces sont comme les temps, et la vitesse est constante; ayant mené deux droites perpendiculaires entr'elles, d'une longueur proportionnelle à la vitesse et au temps du mouvement, le parallélogramme rectangle construit sur ces deux droites, représente évidemment l'espace parcouru dans le temps donné.

Dans le mouvement d'un corps grave, les vitesses sont proportionnelles aux temps; le côté d'un triangle rectangle étant pris pour la mesure du temps, et le second côté adjacent à l'angle droit pour la mesure de la vitesse du corps grave après ce temps, les parallèles à ce second côté, compris dans le triangle, représenteront les vitesses correspondantes aux temps; la ligue du temps ayant été divisée en parties égales, chaque ligne de vitesse peut être considérée comme le côté d'un parallélogramme rectangle qui a pour hauteur l'une des divisions du temps; tous ces parallélogrammes sont inscrits et circonscrits au triangle, et il est facile de faire voir que leur somme est ou plus petite ou plus grande que la surface du triangle, et que cette surface en est la limite; d'un autre côté, l'espace parcouru par le corps grave est représenté par un espace plus grand que la somme

des parallélogrammes inscrits, et plus petit que la somme des parallélogrammes circonscrits; donc il a pour mesure le triangle limite de ces deux séries de parallélogrammes : or, les triangles semblables sont entr'eux comme les carrés des côtés homologues, donc les espaces parcourus par un corps grave sont aussi entr'eux comme les carrés des temps employés à le parcourir.

Cette application de la Géométrie aux lois du mouvement, fait encore voir qu'un corps grave qui se meut uniformément un temps déterminé avec la vitesse acquise au dernier instant de sa chute, parcourt un espace double de celui qui mesure la hauteur dont il étoit tombé dans le même temps.

Des moyens de modifier la Force accélératrice dans le mouvement uniformément accéléré.

Le plan incliné et la machine d'Athoowd sont les deux instrumens les plus simples dont on se sert pour modifier la force accélératrice dans le mouvement uniformément accéléré.

On démontre en Statique que la gravité et la force accélératrice qui est constante dans le mouvement d'un corps glissant le long d'un plan incliné, sont dans le rapport de la longueur et de la hauteur verticale de ce plan.

Dans la machine d'Athoowd, la force accélératrice est à la gravité, dans le rapport de la différence des masses réunies par le même fil, à la

somme de ces masses, comme on peut s'en assurer par ce qui a été dit sur la loi d'inertie (1).

Le principal mérite de cette machine est de faire succéder par un mécanisme très-simple, le mouvement uniforme au mouvement uniformément accéléré.

Les poids des corps homogènes, sous le même volume pris pour unité, en sont *les pesanteurs spécifiques*. Les nombres qui expriment les pesanteurs spécifiques étant proportionnels aux masses comprises sous le même volume, peuvent être pris pour mesurer les densités; mais il faut observer que la gravité n'agit pas également sur tous les points de la surface de la terre; les inégalités dans la figure de cette planète, et son mouvement de rotation sur l'axe des pôles, sont les principales causes de la modification de cette force. On a calculé, d'après des expériences qui ont été faites sur le pendule, qu'une masse de 100000 transportée de l'équateur au pôle, y peseroit 100569; cette augmentation de 569 seroit graduelle en passant par les diverses latitudes; les espaces parcourus dans la première seconde au pôle et à l'équateur, seroient dans le même rapport de 100569 à 100000. Ainsi, lorsqu'on suppose les poids proportionnels aux masses il est entendu que les masses ont été pesées dans le même lieu et à la même latitude.

(1) Nommant g la gravité, et g' la force accélératrice de la machine, on a $g(m'-m) = g'(m+m)$.

A latitudes égales, la pesanteur varie à différentes hauteurs; les corps pèsent d'autant moins qu'ils sont plus éloignés de la surface de la terre. Bouguer, dans son Voyage au Pérou, a trouvé qu'en prenant pour l'unité la pesanteur mesurée à l'équateur et au niveau de la mer, cette force étoit 0,999 à Quito, lieu élevé de 2857 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Lorsqu'un corps tombe d'une grande hauteur, on conçoit qu'il ne se meut pas en ligne droite, parce qu'il est animé de deux mouvemens, l'un rectiligne et perpendiculaire à la surface de la terre, l'autre de rotation autour de l'axe de la terre; tandis que le premier de ces mouvemens s'accélère, le second est retardé. Deux physiciens, MM. Guglielmini et Henrenberg, ont observé qu'en faisant tomber un corps grave d'une grande hauteur, comme 80 mètres, il dévioit sensiblement à l'est de la verticale. Ces expériences sont très-délicates, la moindre agitation dans l'air peut en changer les résultats.

On pourroit objecter contre l'uniformité d'action de la pesanteur, la différence des vitesses qu'acquièrent les corps graves en tombant; mais on sait que cette différence dépend de la résistance de l'air; et la chute des corps dans un tube vide d'air, démontre que les corps les plus différens, et en volumes et en densités, tels que le plomb et le papier, parcourent dans le même temps des espaces égaux : c'est à cette même cause qu'il faut attribuer la différence du choc de deux

masses, l'une liquide et l'autre solide ; la première est divisée par l'air avec lequel elle partage son mouvement, qui par-là se trouve considérablement diminué ; l'expérience *du marteau d'eau* prouve que dans le vide, l'eau choque à la manière des corps solides.

---

et, ce qui le prouve, c'est qu'en exerçant la même pression sur une masse fluide, dans laquelle l'adhérence des molécules n'est pas sensible, il n'y a aucun point de cette masse qui n'en éprouve l'action dans tous les sens. Quelle que soit la figure d'un vase, en y pratiquant une ouverture très-petite, le liquide qu'il contient tendra à s'échapper par cette ouverture, et la force capable de l'empêcher de sortir sera la mesure de la pression du liquide sur cette ouverture. La pression que la gravité exerce en un point quelconque d'une masse liquide, n'a pas seulement lieu dans le sens de la verticale; elle agit sur ce point dans tous les sens, et elle a pour mesure la colonne verticale dont le point que l'on considère est l'extrémité. Cependant on conçoit un liquide assez visqueux, et une force de gravité assez foible pour que la pression de cette force ne soit sensible que dans le sens où elle agit, de même qu'on conçoit une force de gravité assez intense pour détruire l'adhérence des molécules d'un solide soumis à son action.

Lorsqu'un fluide soumis à la pesanteur est en équilibre, sa surface est perpendiculaire à la direction de cette force, car une force inclinée par rapport à cette surface se décomposeroit en deux, l'une normale et l'autre tangente ; or, celle-ci feroit mouvoir les molécules liquides placées à la surface, ce qui est contre l'hypothèse : donc la gravité est nécessairement perpendiculaire à la surface d'une masse liquide pesante. Lorsque cette

surface a peu d'étendue, elle est sensiblement plane et horisontale; c'est par cette raison que la surface de la liqueur dont on emplit les bouteilles d'un niveau, est considérée comme horisontale: lorsqu'on parle du niveau des mers, on désigne par ce mot la surface courbe des eaux de la mer.

Le principe d'égalité de pression dans les liquides étant admis, il s'en suit que la pression exercée contre une portion donnée des parois d'un vase, n'est pas proportionnelle au poids du liquide que ce vase contient, mais qu'elle a pour mesure le poids du prisme ou du cylindre liquide dont la portion donnée des parois est la base, et qui a pour hauteur la hauteur moyenne de tous les points de cette base.

La presse hydraulique de Pascal, est une application du principe d'égalité de pression.

Un vase qui contiendroit un liquide soumis à la seule pression résultante de la gravité, s'il étoit abandonné à lui-même, cesseroit d'en éprouver l'action contre ses parois, car cette pression n'a lieu que parce que le liquide, considéré comme un corps grave, ne peut pas obéir à la gravité, d'où il suit qu'un liquide abandonné à la gravité ne s'écouleroit, par un orifice pratiqué aux parois du vase qui le contiendroit, qu'au moment où ce vase cesseroit de tomber.

De la Pesanteur spécifique des Corps et des Instrumens propres à la mesurer.

La *pesanteur spécifique* d'un corps étant le poids

de ce corps sous un volume donné pris pour unité, les volumes des parties d'un corps homogène sont proportionnels aux poids de ces mêmes parties; donc, si on connoît le volume et le poids d'une partie quelconque de ces corps, on en calcule facilement la pesanteur spécifique.

Le poids d'une substance donnée se mesure par les balances ordinaires. On détermine son volume, en la pesant dans un liquide dont la pesanteur spécifique est connue, l'eau distilée, par exemple : la différence de son poids dans l'air à son poids dans l'eau, donne le poids d'un volume de ce liquide égal au sien; et puisque, par hypothèse, la pesanteur spécifique de l'eau est connue, on calculera facilement le volume correspondant à un poids donné de ce liquide; donc on connoîtra le poids et le volume de la substance donnée.

Cette manière de mesurer le volume d'un corps quelconque suppose qu'en le plongeant dans un liquide il y perd une partie de son poids, équivalente à celle du fluide qu'il déplace.

Pour le démontrer, il faut observer que lorsqu'un liquide est en repos, toutes ses parties sont en équilibre : le poids d'une quelconque de ses parties, est donc détruit par les pressions environnantes, donc en substituant à cette partie du liquide un solide de même forme, ce solide sera soumis aux mêmes pressions que le liquide, et perdra une portion de son poids, égale à celle de ce liquide.

L'aréomètre de Nicholson sert à mesurer le

poids et le volume d'une substance donnée. On suppose que le liquide dans lequel plonge la balance, soit d'une pesanteur spécifique connue, et qu'il n'ait aucune action chimique sur la substance donnée.

La même balance sert à prendre les pesanteurs spécifiques des liquides : il suffit d'y joindre un corps solide dont le volume et le poids soient connus : cet instrument est d'un usage commode pour graduer les pèse-liqueurs dont on fait usage dans les fabriques d'eau-de-vie, d'acides, de sels, etc.

Ayant à traiter, dans les leçons suivantes, de la *température*, on y examinera son influence sur les pesanteurs specifiques des solides et des liquides. On fera connoître les moyens qu'on a employés pour déterminer l'unité de poids, lorsqu'on aura décrit les instrumens à l'aide desquels on rend comparables les mesures de pesanteurs spécifiques, quels que soient le lieu et le temps où elles ont été calculées. La considération de la température dans la mesure de la pesanteur spécifique, est encore plus importante pour les gaz que pour les solides et les liquides ; cependant nous allons encore indiquer le moyen de mesurer la pesanteur spécifique de l'air atmosphérique, et plus tard nous aurons égard aux changemens qu'elle éprouve à raison de la température et du lieu où elle a été mesurée.

De la Pesanteur spécifique de l'Air atmosphérique, et en général de l'Action des forces sur les Gaz.

En faisant abstraction de la pesanteur, un gaz

contenu dans un vase fermé de tous côtés exerce sur les parois du vase une pression qui est égale pour tous les points de ces parois : si le vase est flexible, une pression exercée contre un point quelconque de sa surface se transmet dans tous les sens à tous les points de son volume; il n'y a aucune différence à cet égard entre les liquides et les gaz: la transmission des pressions, jusques dans leurs plus petites parties, se fait de la même manière; mais ce qui les distingue éminemment, c'est leur dilatabilité, qui est à peine sensible dans les liquides, et qui, pour les gaz, n'a pas d'autre limite que l'espace dans lequel ils peuvent s'étendre. Les plus grandes forces mécaniques, appliquées à un vase flexible, contenant un liquide, n'en changent pas sensiblement le volume absolu : en comprimant un gaz dans un vase fermé, on a trouvé que *les volumes occupés par ce gaz étoient proportionnels* aux poids comprimans. La connoissance de cette loi est due à Mariotte, et le tube dont on se sert pour répéter les expériences d'où l'on a déduit cette loi, porte le nom de son auteur.

S'il ne s'agissoit que de prouver l'action de la gravité sur l'air atmosphérique, et de faire voir qu'un volume quelconque de cet air, quelque petit qu'il soit, a un poids sensible et comparable à celui des solides et des liquides, on feroit remarquer les effets du vent, qui, poussé avec violence, est capable de submerger les vaisseaux, d'abattre les maisons, de déraciner des arbres, etc.; car le vent

n'est, comme le son (*), que l'effet de l'air atmosphérique, agité et mu avec une certaine vitesse; on sait aussi qu'on emploie le vent comme moteur; or, quelle que soit la vitesse d'un corps mobile, si ce corps n'a pas de poids sensible, il ne communique aucun mouvement par le choc, ainsi que cela est prouvé pour la lumière; d'où l'on doit conclure que l'air est pesant. Mais quelle est sa pesanteur spécifique ? Pour la mesurer, on prend un ballon terminé par un robinet; on en mesure le volume en le remplissant d'eau; le poids de l'eau qu'il contient correspond au volume d'eau qui est égal au sien : ce ballon étant parfaitement sec, on le pèse, puis au moyen de la pompe pneumatique (*on donne dans la leçon la description de cette machine*), on substitue à l'air contenu dans le ballon un air le plus dilaté possible et qu'on considère comme étant le vide. Le robinet du ballon étant fermé, on pèse de nouveau ce ballon, on trouve son poids diminué, et la différence du poids primitif à ce dernier, donne le poids de l'air qu'il contenoit; et comme on a d'ailleurs le volume correspondant à ce même poids, il s'ensuit qu'on a la pesanteur spécifique de l'air atmosphérique. Ce moyen de la déterminer, quelque direct qu'il paroisse, n'a pas été connu des physiciens qui se sont les premiers oc-

(*) Tous les sons forts ou foibles se propagent avec la même vitesse de 337 mètres par seconde (*ancienne division du temps*).

cupés de la théorie de l'air. La machine pneumatique est de l'invention d'un conseiller privé du roi de Prusse, *Otto de Guericke*, de Magdebourg, qui l'a fait connoître en 1672; mais en 1643, Toricelli, élève de Galilée, avoit prouvé que la hauteur de la colonne de mercure, ou de tout autre liquide qui étoit retenu dans un tube vertical, fermé par l'extrémité supérieure, et plongeant dans un liquide par l'extrémité inférieure, étoit la mesure du poids de l'atmosphère, ce qui a fait donner à ce tube de Toricelli le nom de *Baromètre*. En 1647, Pascal a confirmé la Théorie de l'air de Toricelli, par une expérience au Puy-de-Dôme. Son ami, M. Périer, s'est assuré, d'après son invitation, que la hauteur de la colonne de mercure, dans le baromètre, étoit moindre sur le sommet de la montagne que dans la vallée. C'est le premier usage qu'on ait fait du Baromètre pour mesurer les hauteurs des montagnes.

Sur le parallèle de cinquante degrés centigrades, à la température de la glace fondante, et à la moyenne hauteur du baromètre au niveau des mers, hauteur qui peut être supposée de 0, ^{mètre} 76, le poids de l'air est à celui d'un pareil volume de mercure, dans le rapport de l'unité à 10477,9; d'où il suit qu'en s'élevant alors de 10, ^{mètres} 4779, la hauteur du baromètre s'abaisseroit à très-peu près d'un millimètre, et que si la densité de l'atmosphère étoit par-tout la même, sa hauteur seroit de 7963 mètres. (*Voyez la planche*, baromètre portatif, *à laquelle on a*

joint la formule donnée par M. Laplace, *pour en faire usage comme instrument de topographie.*).

De ce que l'air est pesant, un corps dans l'air pèse moins que dans le vide, par la même raison qu'un corps dans l'eau pèse moins que dans l'air. Le poids qu'un corps perd dans l'air est précisément égal à celui du volume d'air qu'il déplace.

Le ballon dont on a fait usage pour mesurer la pesanteur spécifique de l'air atmosphérique, serviroit également à mesurer celle d'un gaz quelconque sous la pression de l'atmosphère. Si cette pression augmentoit ou diminuoit, la pesanteur spécifique du gaz changeroit; mais d'après la loi de Mariotte, on la calculeroit facilement sous la nouvelle pression donnée. Ce changement dans les pesanteurs spécifiques des gaz, à raison de leur compression, explique l'usage de la vessie à l'aide de laquelle le poisson s'élève ou s'abaisse par rapport à la surface de l'eau.

A la suite de cette leçon, on a exposé la théorie et l'usage de plusieurs machines, dont il existe des modèles dans le cabinet de physique, savoir : le bateau plongeur, le fusil à vent, le syphon, les pompes aspirante et foulante, le bélier hydraulique, la vis d'Archimède, le chapelet.

SIXIÈME LEÇON.

De l'Action capillaire, *et du changement qu'elle produit sur la Figure d'un liquide soumis à la gravité.*

On a vu que la surface d'un liquide soumis à la gravité étoit nécessairement perpendiculaire à la direction de cette force ; mais si ce liquide éprouve l'action d'une ou de plusieurs forces, sa surface devient perpendiculaire à la résultante de ces forces : or, la direction de cette résultante pour chaque point de la surface peut s'écarter de la verticale ou de la direction de la gravité ; donc, lorsque les forces appliquées sur un liquide n'agissent que sur une partie de sa masse, il en résulte une discontinuité dans sa surface ; on observe cette discontinuité sur les bords de tous les vases qui contiennent des liquides. Elle est encore plus sensible dans les syphons dont une des branches est capillaire ; la surface liquide, dans la branche du plus grand diamètre est à peu-près plane, et dans la branche capillaire elle est sensiblement courbe. La cause d'un changement aussi manifeste dans les effets de la gravité, est cette force d'affinité, qui ne s'exerce qu'entre des molécules qui se touchent, ou dont les distances sont inappréciables.

Pour mesurer l'intensité de l'attraction de deux substances différentes, solides ou liquides, on

compare cette attraction à celle de deux lames rectangulaires formées avec ces substances, et réunies par un côté pris pour unité de longueur. L'attraction de ces lames n'agissant qu'à des distances inappréciables, elle n'est sensible que par rapport aux molécules rangées suivant le côté commun des deux lames.

« Si l'on conçoit un tube quelconque prisma-
» tique, vertical, et plongeant par son extrémité
» inférieure dans un fluide indéfini, le volume
» du fluide intérieur élevé au-dessus du niveau
» par l'action capillaire, est égal au contour de la
» base intérieure du prisme, multiplié par une
» constante qui est la même pour tous les tubes pris-
» matiques de la même matière, plongeant dans
» le même fluide. » (*Théoréme de M. Laplace.*)

Cette proposition sur la théorie des effets capillaires a été démontrée par de simples considérations de statique. En effet, considérant ce liquide contenu dans le tube prismatique comme solide, le poids de la partie de ce liquide, qui est au-dessus du niveau du liquide dans lequel le tube plonge, fait équilibre aux forces autres que la gravité, qui agissent sur lui; or, ces forces se réduisent à trois : 1°. à l'attraction du tube sur la couche supérieure du liquide qu'il renferme; 2°. à l'attraction du tube sur la couche inférieure de ce même liquide; 3°. à l'attraction de cette dernière couche, pour le liquide dans lequel le tube plonge.

Les deux premières attractions sont égales; nommant la première Q, et la dernière Q', la somme des trois forces sera exprimée par $2\ Q - Q'$.

L'attraction n'étant sensible qu'à des distances imperceptibles, le premier tube n'agit sensiblement que sur des colonnes extrêmement voisines de ses parois. On peut donc faire abstraction de la courbure de ces parois, et les considérer comme étant développées sur une surface plane; la force Q est proportionnelle à la largeur de cette surface, ou, ce qui revient au même, au contour de la base de la surface intérieure du prisme; donc, si on nomme ce contour c, et de plus a, a', les attractions de la matière du tube sur ce fluide, et du fluide sur lui-même, ces attractions étant mesurées comme on l'a dit précédemment, on aura $Q = a\ c$; et $Q' = a'\ c$, et par conséquent $2\ Q - Q' = c\,(2\ a - a')$. Appelant V le volume de la partie du liquide contenu dans le tube, qui s'élève au-dessus du niveau du liquide dans lequel ce tube plonge, D sa densité, et g la gravité, le poids de ce volume V sera $g\ D\ V$, donc on aura :

$$g\,D\,V = c\,(2\,a - a');\ \text{et}\ V = \frac{c(2\,a - a')}{g\,D} \quad (1)$$

pour les prismes de même matière plongeant dans un même liquide; $\frac{2\,a - a'}{g\,D}$ est une constante, d'où il suit que $V = c \times$ une constante; ce qui est la proposition énoncée.

Si le tube capillaire est cylindrique, en nommant r son rayon intérieur, π la demi-circonfé-

rence, dont le diamètre est l'unité, h la hauteur à laquelle le liquide s'élève dans le tube, on aura, en négligeant la courbure très-peu sensible de la dernière couche de ce liquide,

$$V = \pi r^2 h$$

et parce que c devient $2 r \pi$, l'équation (1) se changera en celle-ci :

$$\pi r^2 h = \frac{2a - a'}{g D} . 2 r \pi ., \text{ ou}$$

$\frac{2a - a'}{g D} = \frac{r h}{2}$; si a' surpasse $2a$, h deviendra négatif, et l'élévation du fluide se changera en dépression.

Pour un autre tube capillaire cylindrique de même matière que le premier et plongeant dans le même liquide, on auroit :

$$\frac{2a - a'}{g D} = \frac{r' h'}{2}, \text{ donc } r h = r' h', \text{ ou :}$$

$h : h' :: q' : q$, c'est-à-dire que les élévations ou les abaissemens d'un liquide dans des tubes cylindriques capillaires, sont réciproques aux diamètres de ces tubes; si on prend deux lames de verre rectangulaires, réunies par un de leurs bords sous un angle très-aigu, et si on les plonge dans l'eau, de manière que la surface de l'eau soit perpendiculaire à l'arête de jonction, le liquide, en s'élevant entre les plaques, y tracera une courbe; or il suit de la dernière proposition que cette courbe est une hyperbole qui a pour asymptotes les côtés rectangulaires des plaques, et c'est en effet ce qu'on vérifie par l'expérience.

Dans un tube de verre d'un millimètre de diamètre, dont l'intérieur est humecté et qui plonge dans l'eau, la hauteur de l'eau au-dessus du niveau sera de trente millimètres et demi à fort peu près (*à la température de* 10 *degrés*); dans un tube de verre du même diamètre, la dépression du mercure est d'environ treize millimètres.

Il y a plusieurs autres phénomènes dont on fait voir l'analogie avec ceux de la capillarité; on observe que certaines substances spécifiquement plus pesantes qu'un liquide, nagent à la surface de ce liquide; des liquides étant mis en contact avec des solides ou d'autres liquides, il y a adhérence sensible (1); des corps ronds nageant à la surface d'un liquide, paroissent ou s'attirer ou se repousser. Plusieurs physiciens, Clairault, Monge, Yong, Guyton, ont écrit sur ces phénomènes plusieurs Mémoires fort intéressans.

Il y a d'autres effets qui se passent journellement sous nos yeux, et qui dérivent immédiatement de l'action capillaire; telle est l'ascension de l'eau dans l'intérieur des végétaux, dans les monceaux de sable, dans les fissures de certaines pierres; l'élévation de l'huile dans la mèche de coton qui s'adapte aux lampes, ect.

(1). Cette force d'adhésion est remarquable; lorsqu'on unit deux lames de verre mouillées d'eau et entièrement plongées dans ce fluide, elle équivaut à un poids considérable qui presseroit les deux lames.

SEPTIÈME LEÇON.

Du Calorique (1).

Tous les physiciens ne sont pas d'accord sur la cause des phénomènes de la chaleur ; quelques-uns la regardent comme une modification particulière des corps ; mais on peut ordonner tous les phénomènes entr'eux, et en rendre raison d'une manière satisfaisante, en les regardant comme produits par l'action d'une matière particulière à laquelle on a donné le nom de *calorique*.

Définition.

Le calorique est un fluide impénétrable, extrêmement élastique et si rare, que sa pesanteur n'est manifestée par aucun phénomène.

Propriété.

Les propriétés générales du calorique, par rapport aux autres corps, sont,

D'être attiré par les molécules de tous les corps de la nature, à des distances insensibles, avec des forces qui décroissent à mesure que la distance augmente, et dont l'intensité, la loi et le rayon d'activité, variables pour chaque corps en particulier, ne sont pas encore mesurés ;

(1) Cet article *Calorique* est de M. Monge.

D'agir sur les molécules des corps, conformément aux lois générales de la nature, c'est-à-dire, en raison de sa propre masse, et par conséquent, de la compression qu'il éprouve.

Les propriétés générales des corps, par rapport au calorique, sont d'être composés des molécules qui s'attirent toutes les unes les autres, à des distances insensibles, avec des forces qui décroissent à mesure que la distance augmente, et dont la loi, l'intensité et le rayon d'activité, variables pour chaque corps en particulier, ne sont pas encore mesurés;

D'être composés de molécules qui ne se touchent pas, ce qui est démontré par la faculté qu'ont tous les corps de diminuer de volume en se refroidissant.

Ces molécules sont séparées par des couches de calorique, dont la compression est occasionnée, 1°. par leur tendance vers la molécule à laquelle elles adhèrent; 2°. par la pression des couches plus éloignées qu'elles de la molécule; 3°. par la force avec laquelle les molécules voisines s'attirent; 4°. par les pressions extérieures, quand le corps est flexible; la compression des couches de calorique est par conséquent variable, et décroît à mesure que ces couches sont plus éloignées de la molécule à laquelle elles adhèrent.

De l'Introduction du Calorique *dans les Corps, et de sa Sortie.*

Le calorique est perpétuellement sollicité dans

les corps par l'action de deux sortes de forces : les unes favorisent son intromission dans le corps, et les autres s'y opposent.

Les forces qui favorisent l'intromission du calorique dans les corps, sont : la compression que le calorique extérieur au corps a la liberté d'exercer sur le calorique intérieur, et la tendance du calorique pour les molécules propres du corps.

La compression du calorique extérieur sur le calorique intérieur est exprimée par le mot *température*, et se mesure.

Si, après l'équilibre, cette compression vient à $\left\{\begin{array}{l}\text{croître}\\ \text{décroître}\end{array}\right\}$, le calorique doit $\left\{\begin{array}{l}\text{s'introduire dans le}\\ \text{sortir du.....}\end{array}\right\}$ corps, jusqu'à ce que son ressort $\left\{\begin{array}{l}\text{augmenté}\\ \text{diminué}\end{array}\right\}$ par là, fasse équilibre de nouveau ; en vertu de ces variations seules, et en supposant qu'il n'y ait aucune tendance du calorique pour les molécules, le volume du corps ne peut changer, de même que le volume d'une éponge sèche n'est point altéré par le changement de densité de l'air extérieur. Enfin les quantités de calorique $\left\{\begin{array}{l}\text{acquises}\\ \text{perdues}\end{array}\right\}$ par ces changemens, et qui, pour le même corps, seroient comme les variations de la température, si l'on pouvoit les mesurer par des effets qui leur fussent proportionnels, constituent ce que les physiciens modernes appellent *calorique sensible*.

Si, après l'équilibre, la tendance du calorique pour les molécules propres du corps, vient à $\left\{\begin{array}{l}\text{croître}\\ \text{décroître}\end{array}\right\}$, la densité du calorique extérieur en con-

tact avec la surface du corps {croît / décroît} ; ce fluide exerce sur les molécules du corps une action {plus grande / moindre}, en vertu de laquelle il {s'introduit dans / sort de. . . . .} l'intérieur du corps, en {surmontant les / cédant aux} obstacles qui lui faisoient équilibre, et en {forçant les. . . . . . / laissant la liberté aux} molécules de {s'écarter davantage / de se rapprocher}, ce qui {augmente / diminue} le volume du corps, et peut aller jusqu'à changer son état de {solide. . . . . / fluide élastique} en liquide, et de liquide en {fluide élastique / solide. . . . .}. C'est ainsi que l'eau en pénétrant dans les pores d'une éponge, des bois secs et de quelques autres corps, augmente leur volume.

Cette quantité de calorique qui, n'étant pas destinée à faire équilibre de la température extérieure, n'est pas libre de se manifester par une action sur le thermomètre, est ce qu'on appelle *calorique latent.*

La somme des *caloriques latent et sensible*, que renferme un corps, s'appelle *calorique absolu;* il n'y a aucune molécule de calorique absolu qui ne remplisse à-la-fois les deux fonctions de caloriques latent et sensible dont il est composé.

Les accroissemens de calorique absolu, nécessaires pour exciter les élévations égales de température dans les différens corps, à masses égales, constituent leur *calorique spécifique.*

Les forces qui s'opposent à l'intromission du calorique dans les corps, sont : l'adhérence des molécules propres du corps, et les pressions extérieures.

C'est l'adhérence des molécules propres du corps que doit principalement vaincre la partie du calorique qui forme le *calorique latent ;* et parce qu'elle décroît à mesure que la distance des molécules augmente, ou que le corps se dilate, il s'ensuit que la même quantité de *calorique latent* dilate les corps d'autant plus qu'ils sont déjà plus dilatés. Ceci est peu sensible à la vérité pour les solides et les fluides élastiques, parce que nous ne pouvons les observer dans une partie très-petite de l'échelle des températures dont ils sont susceptibles; mais cela est vérifié pour les liquides dont les dilatations ne sont pas proportionnelles aux accroissemens de température, et qui ne sont pas propres à former des thermomètres suffisamment exacts, à moins que, comme le mercure, ils ne soient pris dans un état fort éloigné de leurs congélations et de leurs ébullitions (1).

Si, après l'équilibre, l'adhérence des molécules du corps venoit à {croître / décroître}, le calorique {plus / moins} comprimé dans l'intérieur {sortiroit du... / entreroit dans le} corps, et

(1) Les points fixes de l'échelle thermométrique correspondent aux températures de la glace fondante et de l'eau bouillante, sous une pression constante d'atmosphère, par exemple, 76 centimètres ou 28 pouces. Les nombres par lesquels on désigne ces points sont arbitraires. Sur l'échelle *Centigrade* ils sont marqués 0 et 100, sur l'échelle de Réaumur 0 et 80, et sur celle de Fareinheit 32 et 212. La portion de l'échelle comprise entre les deux points fixes étant divisée en autant de parties égales qu'il y a d'unités dans la différence des deux nombres correspondans à ces points, chaque partie est un *degré* du thermomètre.

{éleveroit / abaisseroit} la température des corps circonvoisins. C'est pour cela que dans toutes les combinaisons où il y a du calorique dégagé, l'adhérence des molécules du composé est plus grande que celle des molécules du composant.

Lorsqu'en vertu de l'élévation suffisante de température, les molécules se sont écartées au point de n'agir plus sensiblement les unes sur les autres, elles ne sont retenues en contact que par des pressions extérieures, telles que celle de l'atmosphère; elles sont facilement mobiles les unes par rapport aux autres, et le corps devient *liquide*.

Ainsi, c'est au poids de l'atmosphère (1) que nous sommes redevables de l'état liquide des corps, et sans cette pression ils n'auroient d'autre état habituel que celui de solide et de fluide élastique. L'état liquide par lequel ils passeroient nécessairement de l'un à l'autre ne seroit pas aperçu; ce qui arrive lorsque la glace se dissout dans l'atmosphère par une température plus basse que celle de la glace fondante.

Un corps peut passer de l'état solide à celui de liquide par l'action du calorique seul, ou d'un liquide préexistant.

Le passage de l'état solide à celui de liquide par l'action du calorique seul, qui, pour chaque corps en particulier, se fait à la même température, emploie, sous forme de *calorique latent*, une quan-

(1) Si l'air atmosphérique n'existoit pas, le gaz aqueux formeroit une *atmosphère* dont le poids dépendroit de la température de ce gaz.

tité de *calorique* très-grande pour tous les corps, et variable pour chacun d'eux. Par exemple, le calorique nécessaire à la fusion d'une livre de glace à zéro du thermomètre R., éleveroit cette livre de glace fondue de la température 0° à celle de 60°. Cette propriété fournit un moyen commode d'estimer les quantités de calorique nécessaires aux corps pour le passage d'une température donnée à une autre température aussi donnée, car il suffit de mesurer les quantités de glace qu'ils sont capables de fondre dans ce passage ; c'est sur cette propriété qu'est fondée la construction du *calorimètre* (1).

---

(1) *De la température du mélange de deux substances homogènes.*

On donne le poids et la température de chacune des deux substances, et on demande la température de leur mélange?

(On suppose que les degrés égaux de l'échelle thermométrique correspondent à des accroissemens égaux de chaleur.)

Voici d'abord la règle pour résoudre cette question.

Faites le produit du poids de chaque substance par sa température ; ajoutez ensemble les deux produits ; divisez cette somme par celle des poids ; le quotient sera la température demandée.

Démonstration de cette règle.

Prenons pour exemple le mélange de trois livres d'eau à 80°. et de quatre livres à 10°, soit q la quantité de calorique nécessaire pour élever d'un degré la température d'une livre d'eau, $q \times 3 \times 80$ sera la quantité de calorique nécessaire pour élever de 80° la température de trois livres d'eau; par la même raison, $q \times 4 \times 10$ sera la quantité de calorique nécessaire pour élever de 10° la température de quatre livres d'eau;

Le passage d'un corps de l'état solide à celui de liquide, par l'action d'un liquide préexistant, absorbe aussi du calorique sous forme de calorique latent, mais en quantité beaucoup moindre, et la

---

or, le mélange doit sa température à ces deux quantités de calorique ; mais le poids du mélange étant 7 et sa température x, $q \times 7 \times x$ est la quantité de calorique nécessaire pour élever de $x°$, sept livres d'eau, donc on aura :

$$q \times 3 \times 80 + q \times 4 \times 10 = q \times 7 \times x$$

et par conséquent $x = \frac{3 \times 80° + 4 \times 10°}{7} = 40°$.

Du rapport des Caloriques spécifiques de deux substances non homogènes, déduit de la température de leur mélange.

On donne le poids et la température de chacune des deux substances, la température de leur mélange, et on demande le rapport de leurs caloriques spécifiques?

(On suppose encore que les degrés égaux de l'échelle thermométrique correspondent à des accroissemens égaux de chaleur, et de plus, que les substances dans leur mélange n'exercent entr'elles aucune action chimique.)

Règle pour résoudre cette question.

(Désignons par S la substance qui, dans le mélange, se refroidit, et par S' celle dont la température augmente.)

Multipliez le poids de S par la différence de sa température avant le mélange à celle du mélange ; ensuite multipliez le poids de S' par la différence de la température du mélange à celle de S' avant le mélange, le rapport des deux produits est égal au rapport demandé.

Démonstration de la règle.

Soit q le calorique spécifique de la substance refroidie, p son

température des corps environnans qui fournissent ce calorique, est abaissée d'une quantité qui est constante pour les mêmes corps; c'est pour cela que la dissolution des sels dans l'eau produit du refroidissement (1).

Un corps peut retourner de l'état liquide à l'état solide, 1°. par la retraite seule du calorique, et cette opération à laquelle on pourroit donner le nom général de *congélation*, se fait toujours pour le même corps à la même température;

---

poids, t sa température, m celle du mélange, l'expression du calorique perdu dans le mélange sera :

$$q \times p \times (t - m)$$

q' étant le calorique spécifique de la substance échauffée, p' son poids, t' sa température, l'expression du calorique gagné dans le mélange est $q' \times p' \times (m - t')$; or, les quantités de calorique perdu et gagné sont égales, donc on aura :

$$p\,q\,(t - m) = p'\,q'\,(m - t') \text{ d'où l'on tire :}$$

$$\frac{q'}{q} = \frac{p\,(t-m)}{p'\,(m-t')}.$$ (*Voy. Statique Chimique*, pag. 142.)

Dans la démonstration de cette règle et de la précédente, on ne tient pas compte du mélange du calorique pendant le mélange des deux substances, d'où il suit que les formules trouvées ne sont exactes qu'en prenant pour t et t' les températures des substances mélangées, au moment où l'on observe la température du mélange.

(1) Un mélange de muriate de soude cristallisé (sel marin) et de neige, dans les proportions de 1 à 3 en poids, donne un froid de — 17° R.; le mélange de muriate de chaux cristallisé et de neige, dans les proportions de 4 a 3, produit un froid artificiel de — 39°; c'est par ce mélange qu'on solidifie le mercure.

(*Notes de M. Hachette.*)

2°. Par l'action d'un solide qui le ramène à cet état. Dans ce cas, le calorique qui, sous forme de calorique latent, le constitue liquide, se trouve abandonné, et en se portant sur les corps environnans, il élève leur température, comme on l'observe dans l'extinction de la chaux vive, des alkalis et des sels neutres calcinés, opérée par l'eau, et dans celle de la baryte, opérée par un acide;

3°. Par l'action d'un autre liquide, et alors il y a encore du calorique dégagé comme dans le mélange des acides et des alkalis concentrés, qui forme sur-le-champ des sels neutres cristallisés.

Les pressions extérieures forment les deuxièmes forces qui s'opposent à l'intromission du calorique dans les corps.

Les pressions extérieures n'ont d'effet sensible sur le calorique contenu dans les corps, que quand ceux-ci sont assez flexibles pour changer de volume en cédant à leur action.

Si, après l'équilibre, les compressions viennent à {croître / décroître}, le calorique {plus / moins} comprimé dans l'intérieur qu'il ne l'étoit dans l'état de l'équilibre, {sort du corps et élève / en admet qui abaisse} la température des corps circonvoisins, de même qu'en comprimant une éponge humide, on en exprime le liquide dont elle étoit imprégnée, et qui mouille ensuite les corps qu'il touche. C'est la cause de l'élévation de température, occasionnée par l'écrouissement des métaux sous le marteau qui les frappe, sous le balancier

qui les comprime, et dans les filières qui les pressent, de celle enfin qui a lieu dans les frottemens, et qui croît avec les pressions. C'est aussi la cause de l'élévation de température qui se manifeste lorsqu'on comprime l'air sous un récipient, et de son abaissement, lorsqu'on dilate cet air.

Lorsqu'en vertu de l'élévation de température, le calorique s'introduit entre les molécules d'un liquide, il les écarte en surmontant une partie des pressions extérieures qui seules s'opposoient à cette intromission; et lorsque par les progrès de la température les pressions sont entièrement vaincues, les molécules du liquide, absolument libres, se dissolvent dans le calorique et constituent un *fluide élastique*.

Un corps peut passer de l'état liquide à celui de fluide élastique par l'action du calorique seul, par une diminution suffisante dans les pressions extérieures, et par l'action d'un fluide élastique préexistant.

Le passage d'un corps de l'état liquide à celui de fluide élastique par l'action du calorique seul, se nomme *vaporisation*. Cette opération se fait toujours à la même température pour le même liquide et sous la même pression. Elle emploie, sous forme de calorique latent, une quantité de calorique très-grande en général, et variable pour chaque liquide : par exemple, le calorique nécessaire à la vaporisation d'une livre d'eau à 80° R. éleveroit 7 livres $\frac{1}{2}$ d'eau de 0° à 60°, ou seroit capable de fondre 7 liv. $\frac{1}{2}$ de glace à zéro. Enfin

elle augmente considérablement le volume du corps qui, dans le cas de l'eau, devient environ 1728 fois plus grand.

Lorsque le passage d'un corps de l'état liquide à celui de fluide élastique se fait par une diminution suffisante dans les pressions extérieures, alors la quantité de calorique nécessaire à l'état élastique, quoique moindre que dans le cas précédent, est encore très-grande ; elle est fournie par les corps circonvoisins qui éprouvent un refroidissement proportionné aux circonstances : c'est ainsi que l'eau froide se vaporise dans le vide et se refroidit.

Si le passage d'un corps de l'état liquide à celui de fluide élastique se fait par l'action d'un fluide préexistant, alors il absorbe encore sous forme de calorique latent, mais en quantité beaucoup moindre, du calorique que les corps circonvoisins lui fournissent en baissant de température.

C'est ainsi que le mercure, l'eau, les esprits ardens, les huiles essentielles, etc., se dissolvent dans l'air atmosphérique dont ils augmentent le volume, et qu'ils éprouvent un refroidissement proportionné à la quantité et à la rapidité de cette espèce particulière de dissolution qui se nomme *évaporation*.

Les circonstances favorables à l'évaporation sont une température plus haute dans le liquide à dissoudre, ou une densité plus grande dans le fluide élastique dissolvant, parce qu'alors les

deux corps sont plus voisins de l'état qu'ils vont prendre.

Un corps peut retourner de l'état de fluide élastique à l'état de liquide, par la retraite seule du calorique, par une augmentation suffisante dans les pressions, par la cessation de circonstances favorables à la dissolution dans un autre fluide, telles qu'une température élevée, une grande densité, et par l'action d'un liquide.

L'opération par laquelle un corps retourne de l'état de fluide élastique à celui de liquide, par la retraite seule du calorique, se nomme *condensation*. Elle se fait toujours à la même température pour chaque substance en particulier, sous les mêmes pressions extérieures.

Lorsqu'un corps retourne de l'état de fluide élastique à celui de liquide, par une augmentation suffisante dans les pressions, alors le calorique qui, sous forme de calorique latent, le constituoit fluide élastique, est exprimé; en se portant sur les corps environnans, il élève leur température; mais le liquide reproduit ne peut subsister sous cet état contraint, qu'autant de temps que dure l'augmentation de pression nécessaire à cet effet.

Par la diminution d'une température suffisante, l'eau dissoute dans l'air atmosphérique se précipite très-souvent, redevient liquide, et mouille les corps qui refroidissent l'air.

Nous avons dit aussi que les corps pouvoient passer de l'état de fluide élastique à celui de li-

quide par la cessation des circonstances favorables à leur dissolution dans un autre liquide : c'est ainsi que l'eau dissoute dans l'air atmosphérique redevient liquide, trouble la transparence de l'air, et prend la forme de nuage, lorsque la pression de l'atmosphère diminuant, la densité de l'air, ainsi que sa température, deviennent moindres : ce retour à l'état liquide peut se nommer *précipitation ;* il est accompagné de chaleur.

Les corps passent de l'état de fluide élastique à l'état liquide par l'action d'un liquide préexistant, comme le gaz ammoniac, les gaz acides sulfureux, etc. ; ces gaz sont ramenés à l'état liquide par l'action de l'eau qui les absorbe : l'air atmosphérique même est absorbé par l'eau, mais en quantité beaucoup moindre. Les circonstances favorables à cette absorption sont : 1°. une température plus basse ; 2°. une pression plus grande dans les fluides ; pendant l'absorption il y a du calorique dégagé.

La fluidité élastique est le dernier état que le calorique puisse faire prendre à un corps ; cependant il continue toujours d'agir avec lui, en le dilatant ou en augmentant son ressort.

Le calorique agit sur les fluides élastiques en les dilatant, si les pressions extérieures peuvent céder à son action ; ce qui donne lieu de distinguer *les vapeurs naissantes et les vapeurs élevées.*

Les vapeurs naissantes sont celles qui n'ont que la température nécessaire à l'état de fluide élas-

tique, et qui ne peuvent éprouver le plus léger refroidissement, ni la moindre augmentation de pression, sans retourner, du moins en partie, à l'état liquide.

Les vapeurs élevées sont celles dont la température est plus haute que celle des liquides en ébullition, dont elles proviennent: on peut les refroidir ou les comprimer jusqu'à un certain point, sans leur faire perdre leur état. Les *gaz* ne sont que des vapeurs élevées; ils sont compressibles, du moins dans l'état moyen, sensiblement en raison des poids comprimans. (*Loi de Mariotte.*) (1)

Le calorique agit sur les fluides élastiques en augmentant leur ressort, si le fluide est contenu dans des parois résistantes; par les progrès de la température, il peut le mettre à même de vaincre ces obstacles pour se répandre dans un plus grand espace et produire une *explosion*. Ce phénomène est toujours accompagné de refroidissement.

Les fluides élastiques peuvent exercer des actions sur des corps solides et sur d'autres fluides élastiques.

L'action des fluides élastiques sur les corps solides peut les faire retourner eux-mêmes à l'état solide, ou leur faire dissoudre ceux-ci.

Si les fluides élastiques retournent à l'état so-

(1) La dilatation de tous les gaz est depuis 0° jusqu'à 100° degrés du thermomètre centigrade, de 0,00375 de leur volume pour chaque degré. (*Loi de Gay-Lussac.*)

lide, ils diminuent de volume, et ils abandonnent du calorique : c'est ainsi que les gaz acides sont absorbés par les alkalis, et forment avec eux des sels neutres cristallisés, et que la plupart des métaux absorbent l'oxigène en le forçant d'abandonner le calorique qui le tenoit sous la forme de gaz.

Si les fluides élastiques dissolvent les corps solides, leur volume et leur température sont altérés : par exemple, le gaz oxigène dissout le carbone pur, en excitant une grande chaleur et en diminuant de volume ; au contraire, l'air dissout la glace en se dilatant et produisant un refroidissement. L'air dissout aussi le soufre et une foule d'autres substances, principalement les corps odorans, mais en quantité très-petite ordinairement, et l'on ne connoît pas les circonstances de ces dissolutions.

Lorsque les fluides élastiques exercent leur action sur d'autres fluides élastiques, ils produisent des phénomènes accompagnés de chaleur sans lumière, ou de chaleur avec lumière.

Cette action produit de la chaleur sans lumière, comme dans les combinaisons des gaz nitreux et oxigène, dont les volumes diminuent, et qui forment un autre fluide élastique coloré, que l'on nomme *gaz nitreux*, et comme dans la combinaison des gaz azote et hydrogène, qui forment le *gaz ammoniac*. Les fluides élastiques complexes, formés de cette manière, peuvent ordinairement être décomposés par une augmentation de tem-

pérature, qui rend aux composans le calorique qu'ils avoient perdu pendant la combinaison.

L'action des fluides élastiques sur d'autres fluides élastiques, produit de la chaleur avec lumière, comme dans la combinaison du gaz oxigène avec tous les gaz inflammables, tels que le gaz hydrogène, les vapeurs de soufre, de phosphore, etc. *La flamme* est le spectacle de la combinaison du gaz oxigène avec un gaz inflammable, lorsqu'un des deux fluides est fourni par un jet continu dans un espace rempli de l'autre.

Les fluides élastiques résultans de ces combinaisons ne peuvent être décomposés que par l'intermède d'une substance dont l'action sur un des composans soit plus grande que celle de l'autre.

L'équilibre entre les forces qui favorisent l'intromission du calorique dans les corps et celles qui s'y opposent, étant troublé, il se rétablit avec une vitesse plus ou moins grande dans les différens corps, qui se distinguent à cet égard en *non-conducteurs, semi-conducteurs, et conducteurs parfaits.*

Les corps non-conducteurs de calorique sont ceux qui, mis en contact avec des corps plus
{chauds, convertissent en / froids, ne perdent que le} calorique latent {tout le calorique qui se présente / qui est . . . .} à leur surface, et {n'en admettent point dans / ne fournissent point de calorique de} leur intérieur, tels sont {la glace / l'eau . .} prête à se {fondre / geler} et {l'eau bouillante. . . / la vapeur naissante}; le calorique ne sauroit {pénétrer dans / sortir de. . . .} leur intérieur qui conserve long-temps

sa même température ; la surface de {la glace l'emploie toute / l'eau en perd . . . . . .} pour devenir {liquide / solide} et, celle de {l'eau bouillante / la vapeur . . .} pour devenir {fluide élastique / liquide . . . .}.

Les corps semi-conducteurs sont ceux pour lesquels le calorique se partage en calorique sensible et en calorique latent; ils sont d'autant plus conducteurs, toutes choses d'ailleurs égales, que la portion de calorique sensible est plus grande. Telle est l'eau, et tels sont, à quelques différences près, tous les corps de la nature, parmi lesquels les corps vitreux et gras sont ceux qui sont les moins conducteurs.

Les corps conducteurs parfaits, s'il y en avoit de ce genre, seroient ceux qui n'emploieroient le calorique que sous forme de calorique sensible, la température se distribueroit dans leur intérieur d'une manière très-rapide; ceux qui en approchent le plus sont les métaux.

L'effet général du calorique est de s'opposer aux combinaisons nouvelles, et de séparer les substances lorsqu'elles sont déjà combinées : c'est ainsi qu'une simple élévation de température décompose le gaz ammoniac et le gaz nitreux; cependant le calorique, en diminuant l'adhérence des molécules solides, les dispose à entrer dans des combinaisons nouvelles, et il arrive quelquefois que par-là il favorise plus les combinaisons qu'il ne leur nuit par sa disposition générale; c'est ainsi que l'élévation de la température qui enlève une portion d'oxigène aux mé-

taux très-oxigénés, favorise au contraire l'oxidation des métaux purs.

En récapitulant cette théorie, on voit que les fluides élastiques renferment, 1°. tout le calorique qu'ils contenoient étant solides, et dans le même état de compression où il étoit alors; 2°. celui qu'ils ont reçu pour devenir liquide, et dans l'état de compression moindre qui lui convenoit; 3°. celui qu'ils ont reçu pour passer à l'état élastique, et qui est encore moins comprimé. Lors donc qu'ils perdent ensuite l'état élastique autrement que par refroidissement, les différentes molécules du calorique s'échappent avec des vitesses proportionnelles aux compressions que chaque molécule éprouvoit en particulier, et constituent le *calorique rayonnant* qui agit d'une manière sensible sur l'organe du tact. Le calorique qui avoit appartenu à l'état solide, contracte, en quittant la combinaison, une vitesse très-grande, qui peut la rendre capable d'agir sur l'organe de la vue, et d'y exciter le sentiment de la *clarté*. Le calorique considéré sous ce point de vue est regardé comme le fluide de la *lumière*.

On a donné dans cette Leçon la description des appareils propres à faire le feu, tels que les poéles, cheminées, fourneaux, etc.; on a expliqué les pompes à feu.



HUITIÈME LEÇON.

On a consacré cette leçon à la description de l'hygromètre de Saussure, *et à l'explication des phénomènes qui dépendent de la dissolution de l'eau dans l'air. On a fait connoître les expériences* de Dalton *sur la force expansive de la vapeur d'eau, dans le vide, et à différentes températures; les conséquences qu'on en a tirées pour calculer la quantité de vapeurs d'eau qui sature un volume d'air atmosphérique sec et d'une température donnée; l'accord de ce calcul avec les expériences de Saussure, qui avoit trouvé qu'un pied cube d'air atmosphérique, à* 15° (Réaumur), *étant saturé de vapeurs d'eau, en contenoit dix grains, et que la densité du gaz aqueux étoit à celle de l'air, à force élastique égale, dans le rapport de* 10 *à* 14.

On a exposé le système météorologique de M. Monge, *qui est l'objet d'un Mémoire inséré dans le tome cinquième* des Annales de Chimie, *année* 1790 ; *ce Mémoire contient une explication des phénomènes connus sous le nom de fumée, brouillard, rosée, neige, pluie, frimas, etc.*

NEUVIÈME LEÇON.

De la Lumière.

Propriétés générales.

La lumière est la cause de tous les phénomènes de la vision; on la regarde comme une matière qui jouit des propriétés suivantes : 1°. d'être un fluide éminemment élastique, et tellement rare, que, sous un volume quelconque, il n'a pas un poids sensible; 2°. d'être soumis aux lois générales de l'attraction moléculaire ou de l'affinité; 3°. d'être composé de rayons lumineux, qui, combinés ou pris séparément, produisent la sensation des couleurs.

Les propriétés générales des corps par rapport à la lumière blanche, sont : 1°. de la décomposer en ses élémens colorés; 2°. d'être perméables ou imperméables à ce fluide; ce qui établit la distinction des corps transparens et des corps opaques.

Les substances imperméables à la lumière blanche, le sont aussi à la lumière colorée; les corps opaques qui, par la décomposition de la lumière blanche, deviennent colorés, ne décomposent pas tous les rayons dont ils sont éclairés; ils en réfléchissent une partie, qui est d'autant plus grande, qu'ils sont plus polis; moins ils réfléchissent de lumière blanche ou colorée, et plus ils

approchent de ce qu'on appelle *le noir*, qui est l'absence de toute couleur. Le noir absolu n'existe que dans un espace totalement privé de lumière.

Les corps les plus transparens, tels que le diamant, le cristal de roche, etc., ne sont pas tellement perméables à la lumière, qu'ils la laissent passer en totalité ; il y en a toujours une très-grande partie réfléchie à leur surface ; ce double effet paroît dépendre de l'arrangement des molécules élémentaires du corps transparent, et de la nature des substances qui unissent ces molécules entr'elles.

De la Production de la Lumière.

Le soleil est par rapport à la terre le corps le plus lumineux ; il remplit l'atmosphère de ses rayons, et nous la fait voir sous la couleur qu'on nomme *bleu de ciel;* sa lumière, après avoir traversé l'atmosphère dégagée de nuages, est encore trop vive pour que nos organes puissent en supporter l'impression ; mais si on la reçoit dans une chambre obscure, par une petite ouverture pratiquée à l'une des parois de cette chambre, on verra un espace éclairé d'une lumière blanche, et environné d'un autre espace privé de lumière, ou totalement noir.

Les étoiles sont, comme le soleil, des corps lumineux ; mais elles sont trop éloignées de la terre, pour l'éclairer d'une lumière comparable à celle du soleil.

Il y a d'autres lumières naturelles, telles que

les aurores boréales, les queues de comètes, les animaux luisans, les feux qui ne sont accompagnés d'aucun bruit et qu'on voit la nuit vers l'horison dans les grandes chaleurs de l'été, les étoiles tombantes, etc.; tous ces phénomènes sont encore l'objet des recherches des physiciens.

Quant aux lumières artificielles, soit blanches, soit colorées, si on en excepte la lumière des corps électrisés, elles proviennent toutes du changement du calorique latent en calorique sensible, soit que ce changement provienne d'une action mécanique, ou des forces infiniment supérieures de l'affinité chimique.

Quelles que soient la couleur de la lumière et la nature des corps d'où elle émane, elle suit, dans son mouvement et dans son action sur les corps, des lois qui ont été soumises au calcul, et d'où l'on a déduit l'explication du plus grand nombre des phénomènes de la vision.

Du mouvement de la Lumière, de sa vitesse et de son intensité.

Lorsqu'un rayon de lumière traverse un milieu transparent et uniforme, il se meut uniformément et en ligne droite; d'où il suit qu'un point quelconque d'un corps lumineux est le centre d'une infinité de rayons de lumière, qui, dans ce même milieu, se propagent dans tous les sens en lignes droites.

Si on reçoit sur un plan une partie quelconque des rayons qui partent d'un point quelconque d'un



corps lumineux pour se répandre dans un milieu uniforme, et si on fait mouvoir ce plan parallèlement à lui-même, les intensités de la lumière sont évidemment en raison inverse de la partie du plan qui est éclairée ; or, les aires de ces parties éclairées sont en raison directe des quarrés des distances du plan au point lumineux, donc les intensités de lumière sur le plan mobile sont (ne tenant pas compte de la perte de la lumière qui se disperse dans le milieu qu'elle traverse) en raison inverse des mêmes quarrés.

Dans un milieu diaphane et d'une densité uniforme, les intensités de la lumière qui diverge d'un point lumineux, sont exprimées par les termes de la série décroissante

$$1, \frac{n-1}{n}, \frac{(n-1)^2}{4n^2}, \frac{(n-2)^3}{9n^3}, \frac{(n-3)^4}{16n^4}, \text{etc.}$$

Dans laquelle n exprime la portion des rayons de lumière que la densité du milieu arrête à chaque intervalle égal des distances au point lumineux ; en effet au bout de chaque intervalle égal de distance, l'intensité de la lumière est, à cause de la divergence, comme les nombres $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}$, etc., et en vertu de la densité, comme les nombres

$$\frac{n-1}{n}, \frac{(n-2)^2}{n^2}, \frac{(n-3)^3}{n^3}, \text{etc.}$$

Si, d'après l'expérience, on sait qu'un intervalle horisontal d'air de 368 mètres, par exemple, dissipe la centième partie de la lumière qui le traverse, d'après la loi que suit le décroisse-

ment des intensités, on pourra calculer la perte de lumière qui correspond à un autre intervalle donné dans ce même air d'une densité uniforme.

Bouguer a trouvé que le baromètre étant à 76 centimètres de hauteur, une couche d'air de 7945 mètres d'épaisseur sous cette pression, réduisoit la force de la lumière de 1 à 0,8123.

La lumière se meut avec une vitesse appréciable; celle qu'on produit à la surface de la terre parcourt des espaces trop petits, pour que le temps qui s'écoule entre le moment de l'émission et celui où elle arrive à l'œil, soit sensible; les phénomènes célestes pouvoient seuls nous donner une idée précise sur la vitesse de la lumière. Roemer et Cassini avoient observé que les plus grandes inégalités du temps qui s'écoule entre deux immersions consécutives d'un satellite de Jupiter dans l'ombre de cette planète, correspondoient aux temps de l'opposition et de la conjonction de Jupiter; d'ailleurs, on savoit que la Terre, très-éloignée de cette planète, n'exerçoit sur elle aucune action sensible. Ces deux astronomes ont calculé les inégalités *maximum* et *minimum*, dans l'hypothèse où la lumière mettroit un certain temps à parcourir l'espace qui sépare Jupiter de la Terre. L'observation des inégalités moyennes a confirmé la justesse de ce calcul; cette découverte importante, et pour la physique et pour l'astronomie, a été faite en 1676, comme on peut s'en

assurer en lisant l'article suivant de M. Roemer. *Académie de Paris, 1676, tome X.*

Démonstration touchant le Mouvement de la Lumière.

Il y a long-temps que les philosophes sont en peine de décider par quelqu'expérience, si l'action de la lumière se porte dans un instant à quelque distance que ce soit, ou si elle demande du temps. M. Roemer, de l'Académie Royale des Sciences, s'est avisé d'un moyen, tiré des observations du premier satellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une distance d'environ 3000 lieues, telle qu'est à-peu-près la grandeur du diamètre de la terre, la lumière n'a pas besoin d'une seconde de temps.

Soit fig. *A*, le Soleil; *B*, Jupiter; *C*, le premier satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter, pour en sortir en *D*; et soit *EFGHKL* la Terre placée à diverses distances de Jupiter.

Or, supposé que la Terre étant en *L*, vers la seconde quadrature de Jupiter, elle ait vu le premier satellite, lors de son émersion ou sortie de l'ombre en *D*, et qu'ensuite, environ 42 heures et demie après, savoir après une révolution de ce satellite, la Terre se trouvant en *K*, elle le voie de retour en *D*, il est manifeste que si la lumière demande du temps pour traverser l'intervalle *LK*, le satellite sera vu plus tard de retour en *D*, qu'il n'auroit été si la Terre étoit demeurée en *K*; de sorte que la révolution de ce satellite, ainsi observée

par les émersions, sera retardée d'autant de temps que la lumière en aura employé à passer de *L* en *K*; et qu'au contraire dans l'autre quadrature *F, G*, où la Terre, en s'approchant, va au-devant de la lumière, les révolutions des émersions paroîtront autant accourcies que celles des émersions paroîtront alongées; et parce qu'en 42 heures et demie que le satellite emploie à-peu-près à faire chaque révolution, la distance entre la Terre et Jupiter, dans l'une et l'autre quadrature, varie tout au moins de 210 diamètres de la Terre; il s'ensuit que si pour la valeur de chaque diamètre de la Terre, il falloit une seconde de temps, la lumière emploieroit trois demi-minutes pour chacun des intervalles *FG*, *KL*; ce qui causeroit une différence de près d'un demi-quart d'heure entre deux révolutions du premier satellite, dont l'une auroit été observée en *F, G* et l'autre en *K, L*, au lieu qu'on n'y remarque aucune différence sensible.

Il ne s'ensuit pas pourtant que la lumière ne demande aucun temps; car, après avoir examiné la chose de plus près, il a trouvé que ce qui n'étoit pas sensible en deux révolutions, devenoit très-considérable à l'égard de plusieurs prises ensemble, et que, par exemple, quarante révolutions observées du côté *F*, étoient sensiblement plus courtes que quarante autres observées de l'autre côté, en quelqu'endroit que Jupiter se soit rencontré, et ce, à raison de 16′ 26″ 68 pour tout l'intervalle *HE*, qui est le double de celui qu'il y a d'ici au Soleil.

La nécessité de cette nouvelle équation du retardement de la lumière est établie par toutes les observations qui ont été faites à l'Académie royale et à l'Observatoire depuis huit ans, et nouvellement elle a été confirmée par l'émersion du premier satellite, observée à Paris le 9 novembre dernier, à 5 heures 35 minutes 45 secondes du soir, 10 minutes plus tard qu'on ne l'eût dû attendre, en la déduisant de celles qui avoient été observées au mois d'août, lorsque la terre étoit beaucoup plus proche de Jupiter, ce que M. Roemer avoit prédit à l'Académie dès le commencement de septembre; mais pour ôter tout lieu de douter que cette inégalité soit causée par le retardement de la lumière, il démontre qu'elle ne peut venir d'aucune excentricité ou autre cause de celle qu'on apporte ordinairement pour expliquer les irrégularités de la Lune et des autres planètes; bien que, néanmoins, il se soit aperçu que le premier satellite de Jupiter étoit excentrique, et que d'ailleurs ses révolutions étoient avancées ou retardées à mesure que Jupiter s'approchoit ou s'éloignoit du Soleil, et même que les révolutions du premier mobile étoient inégales, sans, toutefois, que ces trois dernières causes d'inégalité empêchent que la première ne soit manifeste. (*Fin de la Démonst.*)

Toutes les observations des astronomes ont confirmé la découverte de Roemer; il en résulte que la lumière parcourt le rayon de l'orbe solaire en 571″ (le jour étant divisé en 10 heures, et l'heure en 100 minutes, et la minute en 100 secondes); or, ce rayon est, d'après les tables astronomiques,

de 34514980 lieues de 2280 toises (la lieue étant de 4444 mètres). La lumière parcourt donc environ 60446 lieues en 1'' de la pareille division du temps, qui équivaut à-peu-près 0'', 8 de la division usitée.

Les molécules de lumière pourroient être à de grandes distances les unes des autres, comme de quelques centaines de lieues, et nous n'aurions aucun moyen de reconnoître cette discontinuité.

De l'Action de la Lumière sur les Corps;
Des Lois de la Reflèxion et de la Réfraction;
De la Dispersion;

Lorsqu'un rayon tombe sur la surface d'un corps, et revient du point d'incidence dans le milieu qu'il avoit traversé, ce changement de direction se nomme *réflexion*. L'expérience fait voir que, quelle que soit la surface réfléchissante, le rayon incident et le rayon réfléchi font, avec la normale à cette surface, le même angle, et que ces trois droites sont dans le même plan.

Le corps réfléchissant exerce sur la lumière une action qui commence à une distance du corps qu'on ne peut rendre sensible; le rayon de lumière infléchi par cette action décrit une petite portion de courbe, puis il se réfléchit en décrivant une autre portion égale à la première; le point de *réflexion* est celui pour lequel la tangente à la courbe que décrit le rayon de lumière, est parallèle à la surface réfléchissante.

Lorsqu'un rayon de lumière traverse deux milieux transparens de densité différente, s'il n'est pas perpendiculaire à la surface qui sépare les deux milieux, il change de direction; cette déviation se nomme *réfraction* (1).

Le rayon incident, et le même rayon réfracté se rencontrent en un point par lequel, si on conçoit la normale à la surface qui sépare les deux milieux, cette normale fait, avec les deux rayons, des angles dont les sinus sont dans un rapport constant pour les mêmes milieux.

La réfraction est un effet de l'attraction moléculaire.

Lorsqu'un rayon traverse plusieurs milieux transparens terminés par des surfaces planes et parallèles, sa vitesse, dans chaque milieu, est égale et parallèle à celle qu'il auroit prise, s'il eût passé immédiatement du vide dans ce milieu.

Lorsqu'un rayon de lumière atteint la surface qui sépare deux milieux, il se réfracte en s'approchant ou en s'éloignant de la normale à cette surface qui correspond au point d'incidence, selon qu'il est plus ou moins attiré par le second milieu que par le premier; il se dirige suivant la résultante de deux forces, dont l'une lui a imprimé la vitesse qu'il a dans le premier milieu, et l'autre est la différence des attractions ou *des pouvoirs réfringens* des deux milieux; cette dernière force est dirigée dans le sens de la normale au point d'inci-

(1) Certaines substances, telles que le Spath d'Islande (*Carbonate calcaire*), jouissent de la propriété particulière de donner au même rayon de lumière une double réfraction.



dence, ainsi que les deux pouvoirs réfringens dont elle est la différence. Le rayon de lumière, avant d'atteindre la surface qui sépare les deux milieux qu'il traverse, et après l'avoir dépassée, est soumis à l'action simultanée de ces deux milieux; d'où il suit qu'il décrit dans leur sphère d'activité une petite courbe, dont le rayon incident et le rayon réfracté sont les tangentes aux points extrêmes; cette courbe à sa naissance est concave ou convexe par rapport à la surface qui sépare les deux milieux, selon que le second milieu est plus ou moins réfringent que le premier; lorsqu'elle est convexe, il peut arriver qu'elle devienne parallèle à la surface limite des deux milieux, ou avant d'atteindre cette surface, ou après l'avoir un peu dépassée; si ce parallélisme n'a pas lieu, le rayon de lumière quitte la sphère d'activité du premier milieu, arrive dans le second supposé diaphane et uniforme, et s'y meut en ligne droite; lorsque le second milieu est opaque, le rayon de lumière ne peut devenir parallèle à la surface qui sépare les deux milieux, que sur ou en avant de cette surface.

Le pouvoir réfringent du premier milieu variant d'après une loi qui dépende de sa densité, cette loi peut être telle que le rayon de lumière passe d'une suite de couches peu différentes en densité, à d'autres couches qui en diffèrent beaucoup; dans cette hypothèse, il décrit une courbe dont les dimensions sont finies, et qui est l'image exacte de la courbe décrite dans la sphère d'activité de deux milieux, lorsque la réfraction s'y change en réflexion; cette action combinée de deux milieux sur la lumière

est la cause du phénomène du mirage, qui est l'objet d'un Mémoire de M. Monge, lu à l'Institut d'Égypte en août 1798. Ce Mémoire, contenant d'ailleurs l'explication des principaux phénomènes qui résultent de l'action de l'atmosphère sur la lumière, tels que les réfractions astronomiques, le crépuscule, etc.; on le donne ici en entier.

Mémoire sur le Phénomène d'Optique, connu sous le nom de Mirage, par M. Monge.

Pendant la marche de l'armée française dans le désert, depuis Alexandrie jusqu'au Caire, on a eu tous les jours occasion d'observer un phénomène extraordinaire pour la plupart des habitans de la France; ce phénomène exige, pour sa production, que l'on soit dans une grande plaine à-peu-près de niveau, que cette plaine se prolonge jusqu'aux limites de l'horison, et que le terrein, par son exposition au soleil, puisse acquérir une température très-élevée. Il seroit possible que ces trois circonstances se trouvassent réunies dans les Landes de Bordeaux; car la plaine des Landes, comme celle de la Basse-Égypte, est à-peu-près horisontale; elle n'est terminée par aucune montagne, du moins dans la direction de l'est à l'ouest; et il est probable que pendant les longs jours de nos étés, le terrein aride dont elle est formée acquierre une température suffisante. Ainsi ce phénomène pourroit ne pas être ignoré des habitans du département des Landes; mais il est très-connu

des marins, qui l'observent fréquemment à la mer, et qui lui ont donné le nom de *mirage*.

A la vérité, la cause qui produit le mirage à la mer pourroit bien être différente de celle qui le produit à terre; mais, l'effet étant absolument le même dans les deux cas, je n'ai pas cru devoir employer un mot nouveau.

Je vais décrire le phénomène; j'essaierai ensuite d'en donner l'explication.

Le terrein de la Basse-Égypte est une plaine à-peu-près horisontale, qui, comme la surface de la mer, se perd dans le ciel aux bornes de l'horison : son uniformité n'est interrompue que par quelques éminences, ou naturelles ou factices, sur lesquelles sont situés les villages qui par-là se trouvent au-dessus de l'inondation du Nil; et ces éminences, plus rares du côté du désert, plus fréquentes du côté du Delta, et qui se dessinent en sombre sur un ciel très-éclairé, sont encore rendues plus apparentes par les dattiers et les sycomores, qui sont beaucoup plus fréquens près des villages.

Le soir et le matin, l'aspect du terrein est tel qu'il doit être; et entre vous et les derniers villages qui s'offrent à votre vue, vous n'apercevez que la terre; mais dès que la surface du sol est suffisamment échauffée par la présence du soleil, et jusqu'à ce que, vers le soir, elle commence à se refroidir, le terrein ne paroît plus avoir la même extension, et il paroît terminé, à une lieue

environ, par une inondation générale. Les villages qui sont placés au-delà de cette distance paroissent comme des îles situées au milieu d'un grand lac, et dont on seroit séparé par une étendue d'eau plus ou moins considérable. Sous chacun des villages, on voit son image renversée, telle qu'on la verroit effectivement, s'il y avoit en avant une surface d'eau réfléchissante; seulement, comme cette image est à une assez grande distance, les petits détails échappent à la vue, et l'on ne voit distinctement que les masses; d'ailleurs les bords de l'image renversée sont un peu incertains, et tels qu'ils seroient dans le cas d'une eau réfléchissante, si la surface de l'eau étoit un peu agitée.

A mesure qu'on approche d'un village qui paroît placé dans l'inondation, le bord de l'eau apparente s'éloigne; le bras de mer qui sembloit vous séparer du village se rétrécit : il disparoît enfin entièrement; et le phénomène, qui cesse pour ce village, se reproduit sur-le-champ pour un nouveau village que vous découvrez derrière, à une distance convenable.

Ainsi tout concourt à compléter une illusion qui quelquefois est cruelle, sur-tout dans le désert, parce qu'elle vous présente vainement l'image de l'eau, dans le temps même où vous en éprouvez le plus grand besoin.

L'explication que je me propose de donner du mirage est fondée sur quelques principes d'optique, qui se trouvent à la vérité dans tous les

élémens, mais qu'il est peut-être convenable d'exposer ici.

Lorsqu'un rayon de lumière traverse un milieu transparent et uniforme, sa direction est en ligne droite.

Lorsqu'un rayon de lumière passe d'un milieu transparent dans un autre dont la densité est plus grande, si sa direction dans le premier milieu est perpendiculaire à la surface qui sépare les deux milieux, cette direction n'éprouve aucune altération, c'est-à-dire que la droite que le rayon parcourt dans le second milieu est dans le prolongement de celle qu'il parcourt dans le premier; mais si la direction du rayon incident fait un angle avec la perpendiculaire à la surface, 1°. le rayon se brise au passage, de manière que l'angle qu'il forme avec la perpendiculaire dans le second milieu est plus petit ; 2°. pour les deux mêmes milieux, quelle que soit la grandeur de l'angle que le rayon incident fait avec la perpendiculaire, le sinus de cet angle et celui de l'angle que fait le rayon réfracté sont toujours entr'eux dans le même rapport.

Or, les sinus des grands angles ne croissent pas aussi rapidement que ceux des angles plus petits. Lors donc que l'angle formé par le rayon incident et la perpendiculaire, vient à croître, le sinus de l'angle formé par le rayon brisé croît dans le rapport du sinus du premier, et l'accroissement de l'angle lui-même est moindre que celui de l'angle du rayon incident. Ainsi, à mesure que l'angle

d'incidence augmente, l'angle du rayon brisé augmente aussi, mais toujours de moins en moins, de manière que, quand l'angle d'incidence est le plus grand qu'il puisse être, c'est-à-dire lorsqu'il est infiniment voisin de 90°, l'angle que le rayon brisé fait avec la perpendiculaire est moindre que de 90° : c'est un *maximum*, c'est-à-dire qu'aucun rayon de lumière ne peut passer du premier milieu dans le second sous un plus grand angle.

Lorsque le rayon de lumière passe au contraire du milieu plus dense dans celui qui l'est moins, il parcourt exactement la même route que dans le premier cas, mais dans une direction contraire; c'est-à-dire que si, dans le milieu dense, il a la direction qu'avoit le rayon brisé dans le premier cas, il se brise à la surface, et prend la direction qu'avoit aussi le rayon incident dans le premier cas.

D'après cela on voit qu'au passage d'un milieu plus dense dans un autre qui l'est moins, 1°. si le rayon est compris entre la perpendiculaire et la direction du rayon brisé qui fait l'angle du *maximum*, ce rayon sort dans le milieu moins dense; 2°. si le rayon a la direction du rayon brisé dont l'angle est *maximum*, il sort encore en faisant un angle de 90° avec la perpendiculaire, ou en restant dans le plan tangent à la surface. Mais si l'angle que le rayon fait avec la perpendiculaire est plus grand que le *maximum* de l'angle de réfraction, ou, ce qui revient au même, si le rayon est compris entre la surface et le rayon



brisé dont l'angle est *maximum*, il ne sort pas du milieu dense; il se réfléchit à la surface, et rentre en dedans du même milieu, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, ces deux angles étant dans un même plan perpendiculaire à la surface.

C'est sur cette dernière proposition qu'est principalement fondée l'explication du mirage.

La transparence de l'atmosphère, c'est-à-dire la faculté qu'elle a de laisser passer avec une assez grande liberté les rayons de lumière, ne lui permet pas d'acquérir une température très-haute par sa seule exposition directe au soleil; mais quand, après avoir traversé l'atmosphère, la lumière, amortie par un sol aride et peu conducteur, a considérablement échauffé la surface de ce sol, c'est alors que la couche inférieure de l'atmosphère, par son contact avec la surface échauffée du terrein, contracte une température très-élevée.

Cette couche se dilate; sa pesanteur spécifique diminue; et, en vertu des lois de l'hydrostatique, elle s'élève jusqu'à ce que, par le refroidissement, elle ait recouvré une densité égale à celle des parties environnantes. Elle est remplacée par la couche qui est immédiatement au-dessus d'elle, au travers de laquelle elle tamise, et qui éprouve bientôt la même altération. Il en résulte un effluve continuel d'un air raréfié s'élevant au travers d'un air plus dense qui s'abaisse; et cet effluve est rendu sensible par des stries qui altèrent et agi-

tent les images des objets fixes qui sont placés au-delà.

Dans nos climats d'Europe, nous connoissons des stries semblables et produites par la même cause ; mais elles ne sont pas aussi nombreuses, et elles n'ont pas une vitesse ascensionnelle aussi grande que dans le désert, où la hauteur du soleil est plus grande, et où l'aridité du sol, ne donnant lieu à aucune évaporation, ne permet aucun autre emploi du calorique.

Ainsi, vers le milieu du jour, et pendant la grande ardeur du soleil, la couche de l'atmosphère qui est en contact avec le sol est d'une densité sensiblement moindre que les couches qui reposent immédiatement sur elle.

L'éclat du ciel n'est dû qu'aux rayons de lumière réfléchis en tous sens par les molécules éclairées de l'atmosphère. Ceux de ces rayons qui sont envoyés par les parties élevées du ciel, et qui viennent rencontrer la terre en faisant un assez grand angle avec l'horison, se brisent en entrant dans la couche inférieure dilatée, et rencontrent la terre sous un angle plus petit. Mais ceux qui viennent des parties basses du ciel, et qui forment avec l'horison de petits angles, lorsqu'ils se présentent à la surface qui sépare la couche inférieure et dilatée de l'atmosphère de la couche plus dense qui est au-dessus d'elle, ne peuvent plus sortir de la couche dense; d'après le principe d'optique rapporté ci-dessus, ils se réfléchissent vers le haut, en faisant l'angle de réflexion égal à celui d'inci-

dence, comme si la surface qui sépare les deux couches étoit celle d'un miroir, et ils vont porter à un œil placé dans la couche dense l'image renversée des parties basses du ciel que l'on voit alors au-dessous du véritable horison.

Dans ce cas, si rien ne vous avertit de votre erreur, comme l'image de la partie du ciel vue par réflexion est à-peu-près du même éclat que celle qui est vue directement, vous jugez le ciel prolongé vers le bas, et les limites de l'horison vous paroissent et plus basses et plus proches qu'elles ne doivent être. Si ce phénomène se passoit à la mer, il altéreroit les hauteurs du soleil prises avec l'instrument, et il les augmenteroit de toute la quantité dont il abaisseroit la limite apparente de l'horison. Mais si quelques objets terrestres, tels que des villages, des arbres, ou des monticules de terrein, vous avertissent que les limites de l'horison sont plus éloignées, et que le ciel ne s'abaisse pas jusqu'à cette profondeur, comme la surface de l'eau n'est ordinairement visible, sous un petit angle, que par l'image du ciel qu'elle réfléchit, vous voyez une image du ciel réfléchie, vous croyez apercevoir une surface d'eau réfléchissante.

Les villages et les arbres qui sont à une distance convenable, en interceptant une partie des rayons de lumière envoyés par les régions basses du ciel, produisent des lacunes dans l'image réfléchie du ciel. Ces lacunes sont exactement occupées par les images renversées de ces mêmes

objets, parce que ceux des rayons de lumière qu'ils envoient, et qui font avec l'horison des angles égaux à ceux qui formoient les rayons interceptés, sont réfléchis de la même manière que ceux-ci l'auroient été. Mais comme la surface réfléchissante, qui sépare les deux couches d'air des densités différentes, n'est ni parfaitement plane, ni parfaitement immobile, ces dernières images doivent paroître mal terminées, et agitées sur leurs bords, comme seroient celles que produiroit la surface d'une eau qui auroit contracté de légères ondulations.

On voit pourquoi le phénomène ne peut avoir lieu, lorsque l'horison est terminé par des montagnes élevées et continues; car ces montagnes interceptent tous les rayons envoyés par les parties basses du ciel, et ne laissent passer au-dessus d'elles que des rayons qui font avec la surface dilatée des angles assez grands pour que la réflexion ne puisse plus avoir lieu.

Dans un état constant de choses, c'est-à-dire en supposant que la densité et l'épaisseur de la couche dilatée soient constantes, et que la température de la couche supérieure soit invariable, le plus grand angle sous lequel les rayons de lumière puissent être ainsi réfléchis est entièrement déterminé et constant : car la grandeur de cet angle ne dépend que du rapport constant entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction pour les deux milieux. Or, de tous les rayons réfléchis, ceux qui forment le plus grand angle avec

l'horison, paroissent venir du point le plus voisin, et auquel commence le phénomène. Donc, dans un état constant de choses, le point auquel commence le phénomène est à une distance constante de l'observateur : en sorte que, si l'observateur se meut en avant, le point où commence l'inondation apparente, doit se mouvoir dans le même sens et avec la même vitesse. Donc, si la marche est dirigée vers un village qui paroisse au milieu de l'inondation, le bord de l'inondation doit paroître se rapprocher insensiblement du village, l'atteindre, et bientôt après paroître situé au-delà de lui.

Lorsque le soleil est près de l'horison, à son lever, la terre n'est pas encore assez échauffée ; à son coucher elle est déjà trop refroidie, pour que le mirage puisse avoir lieu. Il paroît donc très-difficile qu'indépendamment de l'image directe du soleil, on en voie une seconde réfléchie à l'occasion de la température élevée de la couche inférieure de l'atmosphère. Mais dans le second quartier de la lune, cet astre se lève après midi, et pendant que les circonstances sont encore favorables au mirage. Si donc l'éclat du soleil et la clarté de l'atmosphère permettent alors qu'on apperçoive la lune à son lever, on doit voir deux images de cet astre, l'une au-dessus de l'autre, dans le même vertical. Ce phénomène est connu sous le nom de *paraselène*.

La transparence de l'eau de la mer permet aux rayons de lumière de pénétrer dans son intérieur jusqu'à une profondeur assez considérable : sa sur-



face, par son exposition au soleil, ne s'échauffe pas à beaucoup près autant que le feroit un sol aride dans les mêmes circonstances; elle ne communique pas à la couche d'air qui repose sur elle une température très-élevée; le mirage ne doit donc pas être aussi fréquent en mer que dans le désert. Mais l'élévation de température n'est pas la seule chose qui, sous une pression constante, puisse dilater la couche inférieure de l'atmosphère. En effet, l'air a la faculté de dissoudre l'eau, sans perdre sa transparence; et Saussure a fait voir que la pesanteur spécifique de l'air décroît à mesure qu'il tient une plus grande quantité d'eau en dissolution. Lors donc que le vent qui souffle en mer apporte un air qui n'est pas saturé d'eau, la couche inférieure de l'atmosphère qui est en contact avec la surface de la mer dissout de l'eau nouvelle, et se dilate. Cette cause, jointe à la légère augmentation de température, peut enfin amener les circonstances favorables au mirage, et produit en effet celui que les marins observent assez fréquemment.

Cette dernière cause, c'est-à-dire la dilatation de la couche inférieure de l'atmosphère, occasionnée par la dissolution d'une plus grande quantité d'eau, peut avoir lieu dans tous les instans du jour, lorsque le soleil est près de l'horison comme lorsqu'il est voisin du méridien. Il seroit donc possible qu'elle produisît les parélies, phénomènes dans lesquels, au lever du soleil ou à son coucher, on voit deux images de cet astre en

même temps au-dessus de l'horison apparent. Mais je n'ai jamais eu occasion d'observer ce dernier phénomène, qui d'ailleurs est très-rare, ni de remarquer les circonstances qui l'accompagnent. Je ne propose donc cette explication particulière qu'avec réserve, et dans l'intention de fournir un moyen de faire des observations utiles.

ADDITION.

Depuis la lecture de ce Mémoire, j'ai eu de fréquentes occasions d'observer le mirage à terre; je l'ai fait dans des circonstances très-variées, dans des saisons très-différentes; et les résultats, jusqu'aux plus petits détails, ont toujours été conformes à l'explication que j'en ai donnée; en sorte qu'aujourd'hui je n'ai plus de doute sur son exactitude. De toutes ces observations, il n'y en a qu'une seule que je croie utile de rapporter.

J'étois, avec le général Bonaparte, dans la vallée de Suez, lorsqu'il reconnut le canal qui joignoit autrefois la mer Rouge à la Méditerranée. Cette vallée, de quelques lieues de largeur, est bornée à l'est par la chaîne de montagnes qui s'étend de la Syrie au mont Sinaï, et à l'ouest par les montagnes de l'Égypte. Ces montagnes sont de part et d'autre assez élevées pour intercepter les rayons de lumière envoyés par les parties inférieures du ciel, et ceux de ces rayons qu'elles n'interceptent pas arrivent à terre sous un angle trop grand pour être réfléchis par la couche inférieure et dilatée de l'atmosphère.

Ainsi, dans le moment même le plus chaud du jour, on ne voit sur la surface de la terre l'image réfléchie d'aucune partie du ciel, et l'on n'aperçoit nulle part l'apparence d'une inondation. Cependant l'effet du mirage n'est pas entièrement nul; les objets visibles, placés à-peu-près à mi-côtes, et dont la position correspond à celle des parties inférieures du ciel dont l'image se réfléchiroit, participent à cet effet d'une manière moins frappante, à la vérité, à cause de leur peu d'étendue, et avec moins d'éclat, parce que leur couleur est beaucoup plus obscure que celle du ciel. Indépendamment de l'image produite par les rayons directs, les rayons émanés de ces objets, et qui sont dirigés vers la terre, sont réfléchis par la couche inférieure de l'atmosphère, comme l'auroient été les rayons venus des parties inférieures du ciel, dont ils tiennent la place, et donnent lieu à une seconde image de ces objets, renversée et placée verticalement au-dessous de la première. Cette duplication d'images produit des illusions d'optique contre lesquelles il est bon d'être en garde dans un désert qui peut être occupé par l'ennemi, et où personne ne peut donner des renseignemens sur des apparences inquiétantes. (*Fin du Mémoire de M. Monge.*)

De la Dispersion.

La lumière blanche, en passant d'un milieu dans un autre, n'éprouve pas seulement une déviation

dans sa direction, elle se décompose. Un rayon de lumière, après avoir traversé un prisme blanc, en sort sous la forme d'une image colorée et composée de plusieurs rayons divergens ; c'est à ce phénomène qu'on a donné le nom de *dispersion*(1). A incidences égales des rayons lumineux, et pour des prismes de même angle, les dispersions varient d'après des lois qui ne sont pas connues, et qui changent pour chaque prisme ; l'image colorée qui résulte de la dispersion se nomme *spectre ;* les couleurs extrêmes du spectre solaire sont le rouge et le violet ; elles sont séparées par l'orangé, le jaune, le vert, le bleu et l'indigo ; chacune de ces couleurs est indécomposable par les moyens qui dispersent la lumière blanche ; le rapport des sinus d'incidence du rayon blanc au sinus de réfraction de chacun des rayons colorés élémentaires, est constant pour la même substance ; les rayons colorés qui résultent du mélange des rayons élémentaires sont décomposés par le prisme, c'est ce qui les distingue des rayons élémentaires qui sont indécomposables ; la différence de réfrangibilité des rayons colorés d'un spectre est à peine sensible dans les prismes d'un très-petit angle réfringent ; elle augmente avec cet angle, en les supposant néanmoins homogènes, car un prisme peut être composé

(1) Les anneaux colorés et l'inflexion de la lumière au contact de lames très-minces, offrent encore des exemples de dispersion.

de plusieurs substances telles, qu'il réfracte la lumière sans la décomposer ; dans ce cas, on dit qu'il est *achromatique.*

Du Prisme achromatique.

Soit un rayon de lumière AB (Fig. 2) passant de l'air dans un prisme $PRIS$; il se décompose suivant les rayons BC et BD, l'un rouge et l'autre violet ; ceux-ci rencontrent un second prisme IRS, se réfractent de nouveau suivant CF et DE ; la condition, pour que le faisceau $CDEF$ soit blanc, est que DE soit parallèle à CF; ce parallélisme n'est pas une propriété géométrique, il dépend de la nature des milieux IRS, PIR. Quels que soient les rapports du sinus de l'angle HBb d'incidence aux sinus des angles de réfraction dans le passage de l'air au prisme PRI, on n'en peut rien conclure sur la valeur de ces rapports dans le passage du prisme PRI au prisme IRS ; c'est pour avoir supposé, d'après un trop petit nombre d'expériences, que la direction de la quatrième droite DE dépendoit de celle des trois premières, BC, BD, CF, qu'on a cru long-temps à l'impossibilité des prismes achromatiques, excepté dans le cas où les deux faces PR, ES de l'angle réfringent du prisme seroient parallèles ; mais l'expérience a démontré qu'un prisme composé, tel que $PIRS$, pouvoit décomposer le rayon blanc AB, de telle manière que le rayon moyen du spectre (le verd, par exemple), lui fût parallèle, et dans ce cas on peut dire qu'il y a dis-

persion sans réfraction du rayon moyen ; mais si par un changement de l'angle réfringent *PRI*, ou de la substance *IRS*, on fait sortir le rayon violet *DE* parallèlement au rayon rouge *CF*, la face *IS* étant perpendiculaire à ces mêmes rayons, il y aura, dans ce second cas, réfraction de la lumière blanche sans dispersion, d'où il suit que le prisme *PRIS* sera achromatique.

Si l'on n'avoit besoin de l'achromatisme qu'en un seul point de la droite *CF*, il faudroit que la droite *DE* vînt concourir en ce point ; ce qui ne pourroit avoir lieu que pour une certaine valeur du rapport entre le sinus d'incidence et le sinus de réfraction du rayon extrême *DE* ; valeur qui dépend de la nature des prismes adossés *PRI* et *IRS*, et nullement d'une relation hypothétique entre les différentes réfrangibilités des rayons colorés du spectre.

Ces notions sur le prisme achromatique s'appliquent facilement aux *lentilles ;* on donne ce nom aux verres terminés par deux surfaces sphériques ; celles qui entrent dans la construction des lunettes ont peu de largeur, afin de ne pas trop altérer la forme des objets qu'on veut observer à l'aide de ces lunettes. Si l'on expose une lentille formée de deux verres de différente nature, à des rayons lumineux parallèles à son axe, ceux de ces rayons qui se confondent avec l'axe ne seront pas décomposés, parce qu'ils seront perpendiculaires aux surfaces de la lentille ; elle sera donc achromatique au centre ; mais d'ailleurs on

la rend facilement achromatique sur ses bords, en considérant l'angle des plans tangens à ces bords comme l'angle réfringent d'un prisme; donc, à cause de sa petite largeur, elle sera sensiblement achromatique dans tous ses points.

On vient de voir comment un prisme composé de deux substances différentes devient achromatique; le rayon blanc se décompose par une première réfraction, et se recompose par une seconde réfraction; une seule réflexion dans l'intérieur d'un prisme homogène d'une certaine nature, peut encore faire recomposer un rayon blanc décomposé par une réfraction.

Soit (Fig. 3) un prisme *ABC* d'une certaine densité, qui repose par sa base *BC* sur un liquide d'une densité moindre; parmi les rayons qui tombent sur la face *AC*, les uns se réfractent en *BC* pour pénétrer le liquide, et cette réfraction est, comme on l'a dit précédemment, accompagnée de réflexion sur la face *BC*, mais d'autres se réfléchissent totalement; soit *lm* (1) le premier rayon qui se réfléchit en totalité suivant *lmnop*, il rase la surface *BC*, en décrivant une petite courbe

(1) Il est facile de calculer l'angle d'incidence $n\,m\,m'$ (Fig. 4.), pour que le rayon incident $l\,m$ devienne, après la réfraction de l'air dans le verre, parallèle au plan *BC* qui sépare le verre du liquide *BCDE*.

Nommant u et x les angles d'incidence et de réfraction $n\,m\,m'$ et $n\,m\,o$, on aura : $\frac{\sin u}{\sin x} = m$; le rayon $m\,o$ tombant sur le liquide sous l'angle $q\,o\,r$, y entre sous l'angle $p\,o\,r$; nommant

placée symétriquement par rapport à la normale du point de réflexion, et un spectateur placé dans la direction op cesse de voir le liquide $BCDE$, il n'aperçoit que l'objet d'où le rayon lm est parti. Des rayons aboutissans au point m, tous ceux qui sont placés à la gauche de lm pénétreront le milieu $BCDE$; ceux qui seront placés à sa droite se réfléchiront sur BC; un rayon blanc, correspondant à la limite lm, se décomposera en un spectre qui se verra sur la surface AB du prisme; l'ordre des couleurs de ce spectre dépend des affinités du prisme et du liquide sur lequel il repose; car si on considère les deux rayons extrêmes du spectre, dans l'instant où ils deviennent parallèles à la base BC, ils ont la même vitesse de projection, et ils se trouvent soumis à deux affinités dirigées en sens contraire, celles du liquide et du verre; or, le verre ne les

---

u' et x' les angles por et qor, on aura $\frac{\sin u'}{\sin x'} = n$, $x + x' = C$ (C étant l'angle ACB réfringent du prisme); or, pour que le rayon po se confonde avec BC, il faut qu'on ait $u' = 90°$, $\sin u' = 1$, ce qui donne $\sin x' = \frac{1}{n}$; $x' = \text{arc.} \sin \frac{1}{n}$;

$x = C - \text{arc.} \sin \frac{1}{n}$; $\sin u = m \sin \left(C - \text{arc} \sin \frac{1}{n}\right)$,

et enfin, $u = \text{arc} \sin \left\{ m \sin \left(C - \text{arc} \sin \frac{1}{n}\right)\right\}$.

Les quantités m et n correspondantes au rayon rouge, deviendroient pour les rayons violets m' et n', et l'angle d'incidence U seroit:

$$\text{arc} \sin \left\{ m' \sin \left(C - \text{arc.} \sin \frac{1}{n'}\right)\right\}.$$

retient que parce que son affinité, pour la lumière, est plus considérable, donc c'est la différence de ces deux affinités qui détermine l'ordre dans lequel ils sont réfléchis; si cette différence est plus grande pour le rayon rouge que pour le rayon violet, ce rayon occupera la partie supérieure du spectre; dans le cas contraire, il occupera la partie inférieure; donc on aura un prisme *ABC* tel que le rayon incident *lm* sera réfléchi en *op* sans être décomposé, lorsque la différence des deux affinités sera la même pour les rayons rouge et violet, et que la face *AB* sera perpendiculaire au rayon réfléchi *op*. Un prisme de cristal de roche, posé sur l'eau, donne sur la face *AB* un spectre qui est rouge dans le haut et violet vers le bas (*BC*); c'est l'inverse avec le même prisme, en substituant à l'eau l'huile de Sassafras.

Du lieu de l'Image d'un Point vu par Réflexion ou par Réfraction.

Chaque point de la partie visible d'un objet envoie des rayons de lumière dans tous les sens; l'œil en reçoit un nombre plus ou moins considérable qui forme un petit faisceau conique, dont le sommet est au point éclairé; le spectateur regarde ce sommet comme le lieu réel du point; lorsque les rayons lumineux, qui partent de ce point, sont réfléchis ou réfractés par des corps polis ou transparens, il n'est visible que par les rayons qui arrivent en faisceau conique vers l'œil du spectateur; dans ce cas, on juge encore le

point éclairé placé au sommet de ce dernier faisceau, quoique ce sommet n'en soit que l'image; la détermination du lieu de cette image dépend de la forme et de la nature des corps qui transmettent la lumière, et de leur position par rapport au point visible, et à l'œil du spectateur.

Les rayons lumineux qui partent d'un point et qui se réfléchissent ou se réfractent sur une surface courbe donnée, forment une masse lumineuse qu'on peut concevoir divisée par des surfaces développables dont les arêtes de rebroussement ont pour tangentes des rayons de lumière; ces arêtes de rebroussement se nomment en optique *caustiques de réflexion*, ou *caustiques de réfraction;* ces caustiques sont le lieu des images des points éclairés, et la théorie de ces courbes est la partie principale de l'optique analytique; *la planche* des caustiques et des lentilles fait voir l'usage de ces courbes, pour expliquer les effets des miroirs plans, sphériques, des globes ou vases remplis d'une liqueur, et des verres lentilles. (*Voyez cette planche* (B) *que j'ai fait graver il y a environ sept ans.*)

De la mesure de la Réfraction.

La lumière, en passant d'un milieu dans un autre, se réfracte, et le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction est constant pour chaque rayon simple; en admettant cette loi comme démontrée par l'expérience, la Géométrie donne un moyen rigoureux de trouver ce rapport

pour deux milieux, dont l'un seroit l'air et l'autre une substance de forme prismatique. Soit ACB (Fig.5) le prisme pour lequel on demande le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction; on mesurera d'abord l'angle réfringent ACB; pour cela, le spectateur placé en *œ*, et ensuite en *œ'*, à une petite distance du prisme, mesurera, 1°. les angles OD*œ*, $O'D'$*œ'* que les rayons OD, $O'D'$ venant d'un point très-éloigné du prisme font avec D*œ* et D'*œ'*; 2°. l'angle $O'EO$, ou son égal, g*œ*f formé par des droites *œ*g, *œ*f menées par l'œil *œ* vers les points éloignés O' et O; menant les droites DH, $D'H$ perpendiculaires aux faces AC, BC du prisme, on aura le quadrilatère $DD'EH$, dans lequel l'angle H est supplément de l'angle ACB demandé; or, cet angle H est évidemment égal à la différence de quatre droits à la somme faite de l'angle OEO' et de la demi-somme des deux angles connus OD*œ*, $O'D'$*œ'*, donc l'angle C du prisme est déterminé.

Le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction étant constant, il suffit de le déterminer pour un certain angle d'incidence; parmi les angles d'incidence, il en est un auquel correspond un rayon réfracté qui fait avec les deux faces du prisme des angles égaux; connoissant cet angle et l'angle réfringent du prisme, on en conclut le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction; en effet, soit (Fig. 6) MDN le prisme dont on connoît l'angle réfringent D; un observateur placé en *œ*, dirige un rayon visuel *œ*A' vers un objet A éloigné du prisme; en faisant tourner le prisme,

l'image du point A décrit une courbe qui est renfermée dans l'espace NCD (1) ; $ABCD$ étant la

(1) L'objet de cette note est de prouver que lorsque les deux rayons AB et CD, l'un d'incidence et l'autre de réfraction, font avec les deux faces DM, DN du prisme, des angles égaux, l'angle AHD de ces deux rayons est un *maximum*.

Nommant l'angle réfringent MDN du prisme f, u et x les angles d'incidence et de réfraction HBE, EBE, u' et x' les angles HCE, CE, on a, entre ces cinq quantités, les équation suivantes :

$$(1)\ \frac{\sin u}{\sin x} = \frac{m}{n},$$

$$(2)\ \frac{\sin u'}{\sin x'} = \frac{m}{n},$$

$$(3)\ x + x' = f.$$

L'angle AHC = angle CBH + angle BCH $= (u - x) + (u' - x')$, et par l'équation (3), angle AHC $= u + u' - f$; or l'angle BHC étant un *maximum*, l'angle aHC est un *minimum*,

Donc on a l'équation $d(aHC) = o$;

$$d(u + u' - f) = o\ (4).$$

Différenciant les équations (1), (2), (3), (4), on a :

$$du \cos u = \frac{m}{n}\, dx \cos x,\ (5),\ du' \cos u' = \frac{m}{n} dx' \cos x',\ (6)$$

$$dx + dx' = o \qquad (7)\ du + du' = o \qquad (8)$$

Mettant dans l'équation (6) les valeurs de dx' et du', tirées des équations (7) et (8), on a : $du \cos u' = \frac{m}{n}\, dx \cos x'$; qui devient par l'équation (5), $\frac{\cos x}{\cos x'} = \frac{\cos u}{\cos u'}$ (9).

Substituant les sinus aux cosinus, et élevant au carré, on a :

$$\sin u'^2 (\sin x^2 - 1) - \sin x^2 = \sin u^2 (\sin x'^2 - 1) - \sin x'^2.\ (10)$$

Mettant pour $\sin u$, et $\sin u'$ leurs valeurs tirées des équations (1) et (2), l'équation (10) se change en celle-ci :

$\sin x^2 (m^2 - n^2) = \sin x'^2 (m^2 - n^2)$, donc $x = x' = \frac{f}{2}$

et par l'équation (9) $u = u'$.

route du rayon qui, partant du point A, fait avec les deux faces du prisme des angles égaux; la position de la droite CD est facile à observer, parce que l'image du point A s'approche d'abord de cette droite, ensuite elle s'en éloigne; lorsqu'elle est stationnaire, l'observateur placé en $\oe$ mesure l'angle $A'\oe D'$ formé par la droite $\oe D'$, dirigée vers l'image stationnaire, et la droite $\oe A$ dirigé vers le point A; l'image du point A étant comme le point A même, éloignée du prisme, l'angle $A'\oe D'$ est égal à l'angle AHD ou BHC; menant les deux normales BE, CE aux faces du prisme MDN, on forme le quadrilatère $BHCE$, dans lequel l'angle E est supplément de l'angle réfringent MDN; or l'angle de réfraction CBE est évidemment moitié de ce supplément, et par conséquent égal à la moitié de l'angle connu MDN; de plus, les angles E et H sont mesurés, donc le rapport du sinus de l'angle d'incidence HBE au sinus de l'angle de réfraction CBE sera déterminé.

On emploiera la même méthode pour déterminer le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction de la lumière qui passe de l'air dans le vide et dans un gaz ou un liquide, lorsque le gaz ou le liquide sera contenu dans un prisme creux, formé par des glaces, dont les faces seront parfaitement parallèles, et qui auront leurs angles réfringens dans un même plan.

Le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction est un élément de ce qu'on nomme *pou-*

voir réfringent; le pouvoir réfringent est l'accroissement du carré de la vitesse de la lumière, lorsqu'elle a éprouvé toute l'action du corps transparent (1).

---

(1) L'expression du pouvoir réfringent d'un corps est $\frac{i^2 - 1}{\rho}$ (mécanique céleste; livre 10, page 237), i étant le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction de la lumière qui passe de l'air dans le corps, et ρ la densité de ce corps. Des expériences de MM. Biot et Arago ont prouvé que pour un grand nombre de substances composées, les pouvoirs réfringens étoient presque égaux à la somme des pouvoirs réfringens de leurs élémens.

L'angle sous lequel le rayon $l\,m$ (Fig. 3) se réfléchit sur la substance *BCDE*, étant une fonction des pouvoirs réfringens de cette substance et du prisme *ABC*, la connoissance de cet angle conduit à celle de l'un des deux pouvoirs réfringens. M. Vollaston, en Angleterre, et M. Malus, en France, ont, d'après cette idée, déterminé le pouvoir réfringent de quelques corps opaques, dans le cas où il est moindre que celui du prisme *ABC*. Le travail de M. Malus est l'objet d'un très-beau Mémoire qu'il a lu à l'Institut, en novembre 1807.

DIXIÈME LEÇON.

Suite de la Lumière.

Explication de l'Arc-en-Ciel.

L'ARC-EN-CIEL est une image circulaire et colorée du soleil, qui résulte de la décomposition de ses rayons par l'eau que l'air tenoit en dissolution et qui tombent en gouttes de pluie. Cet effet de l'eau sur la lumière est toujours accompagné de plusieurs circonstances sans lesquelles le phénomène n'auroit pas lieu; ainsi on ne voit l'arc-en-ciel que dans la partie de l'atmosphère où un nuage qui se résout en pluie est éclairé par la lumière blanche du soleil; il n'est visible que pour des spectateurs qui ne reçoivent pas l'impression de cette lumière directe.

D'autres circonstances rendent l'arc-en-ciel plus ou moins apparent; un nuage opaque placé derrière la portion transparente de l'atmosphère où l'arc est formé, en fait ressortir les couleurs; cette portion d'atmosphère ne doit pas seulement être transparente, il faut encore qu'elle ait une certaine étendue en épaisseur, sur-tout pour que l'arc-en-ciel soit visible à une grande distance.

La grandeur et la position des arcs-en-ciel dépendent de la hauteur du soleil, de la position du spectateur par rapport à cet astre et de la figure du terrein enveloppé par les nuages.

Un arc-en-ciel dont les couleurs sont très-vives,

est toujours accompagné d'un second arc, et quelquefois, mais très-rarement, d'un troisième; l'ordre des couleurs, dans tous ces arcs. est constant; du rouge on passe au jaune, au bleu et au violet, en observant néanmoins que dans le premier arc les rayons rouges sont plus inclinés à l'horison que les rayons violets, et que c'est l'inverse pour le second arc; dans le 3e. et le 4e. arc, le 5e. et 6e., etc., les choses se passent de la même manière que dans le premier et le second.

Les couleurs du second arc sont beaucoup moins vives que celles du premier; et le troisième arc est ordinairement si foible, qu'il est rarement visible; *le diamètre apparent de chacun de ces arcs est constant.*

Nous allons d'abord considérer la marche de la lumière du soleil dans une goutte d'eau supposée sphérique, et l'impression de cette lumière sur un spectateur qui, ne recevant pas les rayons directs du soleil, voit la goutte d'eau éclairée par cet astre.

En regardant le soleil comme un point placé à une grande distance de la terre, les rayons solaires arrivent sensiblement parallèles entr'eux sur la goutte d'eau qu'ils éclairent; ils s'y réfractent pour passer de l'air dans l'eau, et de l'eau dans l'air; mais cette seconde réfraction est accompagnée d'une réflexion; les rayons solaires étant décomposés par la première réfraction en élémens rouge, jaune, etc., ces élémens se réfléchissent dans l'intérieur de la goutte avant de repasser dans l'air; or, d'après les lois de la réflexion et



de la réfraction, un rayon solaire quelconque, et les rayons colorés qui résultent de sa décomposition, sont dans un plan mené par le rayon et le centre de la goutte d'eau; donc si, par l'œil d'un spectateur, les centres du soleil et de la goutte, on mène un plan, il n'y aura que les rayons solaires tombant sur la section de la goutte sphérique par ce plan, dont les élémens colorés pourront arriver à l'œil du spectateur; mais ces rayons élémentaires arriveront mêlés et divergens, et la couleur du spectre qu'ils produiront, sera d'autant plus foible qu'on sera plus éloigné du lieu où est placé la goutte d'eau; pour chaque système de rayons colorés, il y a un petit faisceau composé de rayons sensiblement parallèles; comme on n'éprouve la sensation de la couleur propre à ces rayons que lorsque l'œil en reçoit l'impression, on les a nommés *efficaces*. La détermination de l'angle que chacun de ces faisceaux efficaces fait avec les rayons solaires, est un des principaux points de la théorie de l'arc-en-ciel.

De l'angle des Rayons efficaces avec les Rayons solaires.

Soit $ABCF'$ (Fig. 1, pl. 2.) la section de la goutte d'eau dans le plan mené par le centre O de cette goutte, par l'œil du spectateur, et parallèlement aux rayons directs du soleil; ces rayons qui tombent sur l'arc AB se réfractent et se décomposent en rayons colorés. Ne considérons de ces derniers que les rouges; on sait par les expé-

riences de Newton, que pour cette espèce de rayons, le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction de l'air dans l'eau est celui de 4 à 3; il sera donc facile, d'après cette donnée, de construire la fig. (1) qui représente tous les rayons rouges réfractés; or, on voit que ces rayons sont tangens à une même caustique GCH qui coupe le grand cercle de la goutte d'eau au point C; le rayon CE se réfléchissant en CE' et se réfractant dans l'air en $E'L'$, il est évident que le petit faisceau $ELMF$ composé des rayons parallèles, conservera son parallélisme dans la direction $E'L'M'F'$, puisque les droites $E'L'$, $F'M'$ font avec les cordes CE', CF' les mêmes angles que les droites EL, FM font avec les cordes CE, CF; un œil placé dans la direction du rayon rouge $E'L'$, pourra recevoir l'impression du rayon qui en est très-voisin, à cause de la petite divergence de deux rayons consécutifs; mais si, par le centre O de la goutte d'eau, on conçoit une droite parallèle à $E'L'$, sur laquelle seront placés les centres d'autres gouttes o', o'', etc., (Fig. 2), la lumière qui pénètre l'espace dans lequel la pluie tombe, éclairera ces gouttes, et s'y décomposera en rayons rouges; ces rayons se réunissant dans la direction $E'L'$, feront éprouver à un spectateur placé dans la même direction la sensation du rouge, à moins qu'il n'y ait autour de l'espace occupé par la pluie, des parties du ciel trop éclairées, dont la lumière directe affoiblisse la lumière décomposée; mais si au-delà l'espace occupé par la pluie, on

voit des nuages noirs qui servent de fond à l'arc-en-ciel, cet arc paroîtra sous des couleurs très-vives ; lorsque l'espace rempli par les gouttes d'eau n'est pas étendu en profondeur, les molécules O, o', o'' sont en petit nombre, et la lumière colorée qu'elles envoient, quoique dans une même direction, se disperse avant d'arriver à l'œil du spectateur ; c'est d'ailleurs à cause de l'étendue des nuages que l'arc-en-ciel est visible en même temps en des lieux différens.

Tout ce qu'on vient de dire des rayons rouges doit s'entendre des rayons violets, et de tous les rayons colorés placés entre le rouge et le violet; ainsi, il y a un petit faisceau blanc composé de rayons parallèles qui, tombant sur l'arc AB (Fig. 1) sort de la goutte d'eau sous la forme d'un petit faisceau violet $E'F'L'M'$ très-peu divergent ; ce faisceau, dont la couleur est augmentée par la réunion des rayons efficaces provenant des molécules disposées comme on le voit dans la fig. 2, produit sur l'œil qui est placé dans la direction de ce faisceau, l'impression du violet ; la réfrangibilité des rayons violets n'étant pas la même que celle des rayons rouges, les rayons efficaces correspondant aux couleurs extrêmes de l'arc-en-ciel, le rouge et le violet, font entr'eux un angle qu'on prend pour la mesure de la largeur de l'arc ; le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour les rayons violets qui passent de l'air dans l'eau, étant supposé de 109 à 81 comme Newton l'a donné, on pourra construire la caus-

tique de réfraction GCH (Fig. 1), et déterminer l'angle des rayons violets efficaces, comme on a trouvé l'angle $a\,c\,b$ pour les rayons rouges.

L'angle de chaque faisceau de rayons colorés efficaces avec la droite menée par l'œil du spectateur parallèlement aux rayons solaires étant constant, il est évident que cet angle sera le même dans tous les plans menés par cette droite; donc tous les rayons colorés d'une même espèce appartiendront à un cône dont l'œil est le sommet, et dont l'axe est parallèle aux rayons solaires : or l'apparence de toute courbe tracée sur un cône droit, est un cercle dont le plan est perpendiculaire à l'axe de ce cône; donc l'image du soleil, produite par les rayons que les gouttes d'eau ont décomposés, est formée d'une suite de cercles différemment colorés, dont les plans sont perpendiculaires aux rayons directs du soleil. Le cercle rouge et le cercle violet terminent cette image. La portion de ces cercles qui est visible, pour une hauteur donnée du soleil, dépend de la forme du terrein et de la position des nuages opaques qui les entourent. C'est en pleine mer, et lorsque le soleil est peu élevé au-dessus de l'horison, que l'on voit les plus beaux arcs-en-ciel.

Il y a une circonstance assez remarquable pour les navigateurs, c'est la réunion de deux arcs-en-ciel, l'un produit par les rayons directs du soleil, et l'autre par l'image de cet astre sur la surface réfléchissante des eaux de la mer. Les droites, menées de l'œil du spectateur au centre du soleil et

au centre de son image au-dessous du niveau des eaux, forment avec l'horison des angles égaux, et par conséquent les plans des arcs dus au soleil et à son image font entr'eux un angle égal à celui de ces droites. On lit, dans les Mémoires de l'Institut d'Égypte, pag. 8, le Rapport suivant de M. Monge, sur ce double arc-en-ciel.

« Pendant notre retour d'Égypte (*M. Monge accompagnoit l'Empereur, qui a débarqué à Fréjus, le* 8 *octobre* 1799), lorsque nous approchions des climats d'Europe, un matin, quelques minutes après le lever du soleil, le ciel étoit clair à l'est, il pleuvoit du côté de l'ouest, et l'on voyoit les deux arcs-en-ciel ordinaires, l'un intérieur produit par une seule réflexion des rayons au-dedans des gouttes de pluie; l'autre extérieur, produit par deux réflexions. Dans ce moment, la mer et l'atmosphère étoient l'un et l'autre parfaitement calmes, et la surface de l'eau, qui étoit très-lisse, réfléchissoit assez bien l'image du ciel. Cette image réfléchie donnoit aussi lieu à deux arcs-en-ciel particuliers. Les deux premiers arcs, produits par les rayons directs et descendans, formoient des segmens moindres que la demi-circonférence; les deux autres, produits par les rayons réfléchis et ascendans, présentoient au contraire des segmens plus grands que de 180°. De ces quatre arcs simultanés, les analogues avoient même pied, et divergeoient, comme feroient deux segmens d'une même circonférence de cercle, repliés sur leur corde commune. (Les Arabes nom-

ment ce phénomène *al-béïdhât*, pluriel de *d'al-béïdah*, la lumière, la clarté.) »

Cette explication de M. Monge s'accorde avec celle de Descartes, qui avoit observé le même phénomène près d'un grand lac.

Du second Arc-en-Ciel.

Les rayons colorés qui ont subi une première réflexion dans l'intérieur de la goutte d'eau, n'en sortent pas en totalité; une partie repasse dans l'air, et une autre partie éprouve une nouvelle réflexion. C'est à cette double réflexion, suivie d'une réfraction de l'eau dans l'air, qu'est dû le second arc-en-ciel; les rayons efficaces pour chaque couleur sont encore ceux qui sortent de la goutte d'eau sensiblement parallèles entr'eux: or, pour que ce parallélisme ait lieu, on démontre que les rayons extrêmes du faisceau coloré, qui deviennent efficaces, sont, dans la première réflexion, parallèles entr'eux; en effet, soit $MFLE$ (Fig. 3) le faisceau qui doit devenir efficace; il se réfracte suivant $FEfe$, et il se réfléchit suivant $efe'f'$. Or, si les deux rayons ee', ff' sont parallèles, leurs réfléchis $e'E'$, $f'F'$ comprendront, en se croisant, les deux arcs $e'f'$, $E'F'$ égaux aux arcs EF, ef, et feront, avec les rayons réfractés $F'M'$, $E'L'$, des angles égaux à ceux que les rayons incidens MF, LE font avec les rayons qui se réfractent suivant Ff et Ee; donc les rayons $F'M'$, $E'L'$ sont parallèles entr'eux, comme les droites FM, EL le sont entr'elles.

Pour un troisième arc-en-ciel, les rayons colorés éprouveroient dans l'intérieur de la goutte d'eau trois réflexions avant de rentrer dans l'air; le faisceau, à la première réfraction et à la troisième réflexion, devra, pour devenir efficace, rencontrer le grand cercle de la goutte d'eau sous le même angle; d'où il suit que pour ce troisième arc, les rayons extrêmes de ce faisceau doivent, à la première réflexion, concourir, comme dans le premier arc à la première réfraction, en un point du grand cercle de la goutte d'eau. En raisonnant de la même manière pour le quatrième arc, on verra que les rayons extrêmes du faisceau doivent devenir parallèles à la seconde réflexion, et pour le cinquième arc, ils concourent à la troisième réflexion sur le grand cercle de la goutte d'eau. Pour le sixième arc, ils deviennent parallèles à la quatrième réflexion, et ainsi de suite. En général, pour le n^e. arc, ils deviennent parallèles à la $\left(\frac{n}{2}+1\right)^{\text{ème.}}$ réflexion, lorsque n est pair; ils concourent sur le grand cercle de la goutte d'eau à la $\left(\frac{n+1}{2}\right)^{\text{ème.}}$ réflexion, lorsque n est impair.

Le second arc-en-ciel n'étant dû qu'à deux réflexions successives des rayons efficaces dans l'intérieur de la goutte d'eau, on conçoit que ces couleurs doivent être beaucoup moins intenses que celles du premier; mais il y a une autre circonstance qui distingue ces deux arcs, c'est le

renversement des couleurs. Dans le premier arc, le cercle rouge est plus élevé par rapport à l'horison que le cercle violet, et c'est l'inverse pour le second arc. Le même renversement de couleurs a lieu dans deux arcs consécutifs, dont l'un provient d'un nombre impair et l'autre d'un nombre pair de réflexions. Le premier arc-en-ciel diffère encore du second par la largeur, c'est-à-dire par l'angle que les arêtes des cônes qui ont pour base les cercles extrêmes d'un même arc, font entr'elles dans un plan mené par l'axe commun de ces cônes. Les fig. 1, 2, 3 suffisent pour rendre raison de ces différences par rapport aux deux premiers arcs-en-ciel; mais le calcul donnera la valeur exacte des angles dont ces différences dépendent, non-seulement pour ces deux arcs, mais encore pour ceux qui résultent d'un nombre quelconque de réflexions.

Théorie de l'Arc-en-Ciel déduite du calcul.

Soit $ADEF$ (Fig. 4) la section de la goutte d'eau dans le plan mené par le centre de cette goutte, le centre du soleil et l'œil du spectateur; un rayon blanc SA se réfracte suivant AD, et se réfléchit un nombre p de fois, suivant les droites AD, DE, EF, etc., et rentre dans l'air suivant la droite $F\alpha$, qui, étant prolongée, rencontre la droite SA au point C; l'angle BFE du dernier rayon réfléchi FE avec la droite BF étant égal à l'angle BAD du rayon réfracté AD avec la droite BA, il est évident que l'angle

EFC est égal à l'angle *DAC*, puisque le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction est constant ; donc la droite *BC* divisera l'angle *ACF* en deux parties égales *ACB*, *BCF*.

Soit m l'angle d'incidence *BAC*;

n l'angle de réfraction *BAD*;

a le rapport de sin m à sin n,

le rayon étant 1;

π la demi-circonférence

dont le rayon est 1.

Nous allons d'abord chercher l'expression de l'angle *ACF* correspondant à un nombre quelconque p de réflexions, en fonction des deux angles m et n; puis nous déterminerons la valeur de cet angle, correspondant aux rayons efficaces, d'après la condition qu'elle ne varie pas, lorsqu'on fait varier infiniment peu l'angle d'incidence m; cette méthode de calcul est celle qu'a donnée M. Poisson, dans une édition de l'Optique de Lacaille, augmentée par des Élèves de l'École Polytechnique.

L'angle $ACB = \pi - m - ABC$; or, l'angle $ABC = \frac{ADEF\ldots}{2} = \text{angle } ABD \times \frac{(p+1)}{2}$, mais l'angle $ABD = \pi - 2n$.

Donc l'angle $ABC = (\pi - 2n)\frac{(p+1)}{2}$, et enfin

angle $ACB = y = \pi - m - (\pi - 2n)\frac{(p+1)}{2}$,

et réduisant :

$$2y = 2n(p+1) - 2m - \pi(p-1) \quad (1)$$

Lorsque le rayon CF est efficace, on doit avoir

$$\frac{dy}{dm} = 0\,;$$

Différentiant l'équation (1), on a

$$\frac{dn}{dm}(p+1) - 1 = 0 \qquad (2)$$

Mais, d'après les données,... $\dfrac{\sin m}{\sin n} = a$ (3)

D'où l'on tire........ $\dfrac{dn}{dm} = \dfrac{\cos m}{a \cos n}$ (4)

Substituant cette valeur de $\dfrac{dn}{dm}$ dans l'équation (2), on aura $(p+1)\cos m = a \cos n$ (5)

En combinant les équations (3) et (5), on obtient les valeurs suivantes :

$$\left.\begin{aligned}
\sin m &= \pm \sqrt{1 - \frac{(a^2-1)}{p(p+2)}} \\
\cos m &= \pm \sqrt{\frac{a^2-1}{p(p+1)}} \\
\sin n &= \pm \frac{1}{a}\sqrt{1 - \frac{a^2-1}{p(p+2)}} \\
\cos n &= \pm \frac{1}{a}\sqrt{\frac{(a^2-1)(p+1)}{p}}
\end{aligned}\right\}(E).$$

Les angles m et n étant connus par ces équations, l'équation (1) donnera la valeur de $2y$ correspondant aux rayons efficaces.

La valeur de $\sin m$ est double ; le signe $+$ correspond au cas où le point d'incidence A (Fig. 4) est au-dessus de la droite BO parallèle aux rayons

solaires ; et le signe — correspond au cas où ce point est au-dessous de cette même droite ; le signe qu'on doit prendre pour sin m est déterminé par la condition, que le rayon $F\omega$ n'est efficace que pour un spectateur qui ne reçoit que les rayons directs du soleil : ainsi on voit (Fig. 1) que si, pour la première réflexion, c'est-à-dire lorsque $p = 1$, sin m est positif; pour la seconde réflexion (Fig. 3) auquel cas $p = 2$, sin m est négatif.

En observant que dans l'équation (1), $p - 1$ est un nombre entier pair lorsque p est impair, et qu'il est un nombre impair lorsque p est pair, on aura lorsque p est impair

$$2y = 2n(p + 1) - 2m \qquad (P')$$

Et si on suppose que lorsque p est pair, les angles y, m, n, et le nombre p soient représentés par les lettres Y, M, N, P, on aura

$$2Y = 2N(P + 1) - 2M - \pi \qquad (P'')$$

La valeur d'un angle étant toujours double à cause de son supplément, la même considération qui sert à déterminer le signe du sinus de l'angle d'incidence m, fera voir laquelle des deux valeurs données par chacune des deux équations (P'), (P'') on doit prendre.

On voit par les équations (E) que si la valeur a du rapport entre le sinus d'incidence et le sinus de réfraction augmente, le sinus de l'angle m et l'angle lui-même diminuent; donc, si dans l'équation (P') on change les angles y, m, n, correspondant au rapport a et au nombre de réflexions p,

et qu'on y substitue les angles y', m', n' qui correspondent au rapport a' et au même nombre p, cette équation (P') deviendra

$$2\,y' = 2\,n'\,(p - 1) - 2\,m' \qquad (Q')$$

dans laquelle m' et n' sont des angles plus petits que m et n.

a et a' étant les rapports des sinus d'incidence et de réfraction pour les rayons rouges et violets, $2\,y - 2\,y'$ sera la largeur de l'arc-en-ciel, c'est-à-dire qu'on verra les rayons colorés extrêmes de cet arc sous l'angle $2\,y - 2\,y'$.

Lorsqu'on a $y > y'$, les rayons rouges sont plus élevés par rapport à l'horison, que les rayons violets, et c'est l'inverse lorsqu'on a $y < y'$.

Les équations (P') et (Q') pourront être mises sous cette forme

$$2\,y = 2\,np - 2\,(m - n)$$

$$2\,y' = 2\,n'p - 2\,(m' - n')$$

ou $$2\,y' = 2\,np - 2\,kp - 2\,(m' - n')$$

en nommant k la différence de n à n' ; or, pour la valeur de

$$a = \frac{4}{3}, \text{ et } a' = \frac{109}{81},$$

on a, $2\,(m - n) < 2\,kp + 2\,(m' - n')$

d'où il résulte que, pour cette valeur, on aura $2\,y > 2\,y'$; c'est-à-dire que, pour les arcs-en-ciel d'un nombre impair de réflexions, les rayons sont plus élevés par rapport à l'horison, que les rayons violets.

En raisonnant de la même manière sur l'équation (P''), elle deviendra pour le rapport a',

$$2\,Y' = 2\,N'(P+1) - 2\,M' - \pi \qquad (Q'')$$

et la différence des deux angles $2\,Y'$ et $2\,Y$ donnera la largeur de l'arc-en-ciel correspondant au nombre P, qu'on suppose pair. Les angles Y et Y' étant positifs et moindres que 180° ou π, on peut écrire ainsi les équations (P'') et (Q'')

$$2\,Y = \pi + 2\,M - 2\,N\,(P+1)$$
$$2\,Y' = \pi + 2\,M' - 2\,N'\,(P+1)$$

Faisant $N' = N - \delta$,

$$2\,Y = \pi + 2\,(M - N) - 2\,NP$$
$$2\,Y' = \pi + 2\,(M' - N') + 2\,\delta P - 2\,NP.$$

Or, pour le rapport $a = \frac{4}{3}$ et $a' = \frac{109}{81}$, on a

$$(M - N) < (M' - N') + \delta P,$$

donc $2\,Y'$ est plus grand que $2\,Y$; donc, pour tous les arcs-en-ciel d'un nombre pair de réflexions, les rayons violets sont plus élevés, par rapport à l'horison, du spectateur, que les rayons rouges; ce qui explique le renversement des couleurs dans le premier et le second arc-en-ciel, quoique ces couleurs se succèdent dans le même ordre, c'est-à-dire en allant dans l'un et l'autre cas du rouge au violet, ou du violet au rouge.

En comparant entr'elles les valeurs $Y' - Y$ et $y - y'$, on aura les différences entre les diamètres des arcs-en-ciel d'un nombre pair ou impair de réflexions.

Calcul numérique de l'Arc-en-Ciel.

On suppose que le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction est $\frac{4}{3}$ pour les rayons rouges, et $\frac{109}{81}$ pour les rayons violets.

Du premier Arc-en-Ciel, pour lequel on a $p = 1$.

Faisant, dans les équations (*E*) pag. 136,

$$a = \frac{4}{3},\ p = 1,$$

on a $\sin m = \sqrt{\frac{20}{27}}$, $\sin n = \frac{3}{4}\sqrt{\frac{20}{27}}$.

Or,

$\log 20 = 1.30103000$, $\frac{1}{2}\log 20 = 0.65051500$

$\log 27 = 1.43136376$, $\frac{1}{2}\log 27 = 0.71568188$

Retranchant $\frac{1}{2}\log 27$ de la somme $10 + \frac{1}{2}\log 20$,

on a pour le logarithme de sin m,	9.93483312
Ajoutant le logarithme de 3	0.47712125
	10.41195437
Retranchant log 4	0.60205999
on a pour le logarithme de sin n,	9,80989438
et par approximation	9.8098944

d'où l'on a, d'après les tables,

$m = 59^\circ\ 23'\ 28''$, $n = 40^\circ\ 12'\ 10'', 682$

or, d'après l'équation (1), $2y = 2(2n - m)$

Donc, pour le premier arc-en-ciel, l'angle des rayons rouges efficaces avec les rayons directs du soleil est égal à $42° 1' 46'', 7$; pour trouver l'angle des rayons violets efficaces avec les mêmes rayons directs du soleil, il faut, dans les équations (E), faire $a = \frac{109}{81}$, et $p = 1$, ce qui donne

$$\sin m' = \sqrt{\frac{14363}{19683}}, \qquad \sin n' = \frac{81}{109}\sqrt{\frac{14363}{19683}}.$$

En désignant par m' et n' les valeurs de m et n correspondant au rapport $\frac{81}{109}$.

$\log 14363 = 4.1572452$, $\frac{1}{2}\log 14363 = 2.0786226$

$\log 19683 = 4.2940913$, $\frac{1}{2}\log 19683 = 2.1470456$

ce qui donne, pour log sin m',	9.9315770
Log 81 =	1.9084850
Log sin m + log 81 =	11.8400620
Retranchant log 109 =	2.0374265
on a, pour log sin n'	9.8026355

ce qui donne

$m' = 58° 40' 31''$, $\qquad n' = 39° 24' 18''$.

Par l'équation (1), $\qquad 2y' = 2(2n' - m')$,

donc $2y' = 40°, 16' 10''$

mais $2y = 42° \; 1' 46'', 7$

donc la largeur $2y - 2y'$ du premier arc-en-ciel est $1° 45' 36'', 7$

Du second Arc-en-Ciel, par lequel on a $p=2$.

Faisant, dans les équations (E),

$$a=\frac{4}{3},\ p=2,\text{ on a}$$

$$\sin m=\sqrt{\frac{65}{72}},\qquad \sin n=\frac{3}{4}\sqrt{\frac{65}{72}}.$$

$$\text{Log }65=1.81291336,\ \frac{1}{2}\log 65=0.90645668$$

$$\text{Log }72=1.85733250,\ \frac{1}{2}\log 72=0.92866625$$

Log sin m,	$=$ 9.97779043
Ajoutant log 3	$=$ 0.47712125
Log sin m + log 3	$=$ 10.45491168
Retranchant log 4	$=$ 0.60205999
Log sin n	$=$ 9.85285169
et par approximation	$=$ 9.8528517

Cherchant les valeurs de m et n correspondantes à leurs sinus, on a

$m=71°\ 49'\ 55'',07$ $\quad n=45°\ 26'\ 51'',497$

Or, d'après l'équation (1),

$$2y=2(3n-m)-\pi,$$

ou

$$2y=\pi-2(3n-m).$$

Donc, par le second arc-en-ciel, les rayons rouges efficaces font, avec les rayons directs du soleil un angle $2y=50°\ 58'\ 41''$.

Les équations (E) donnent pour les angles m et n qui correspondent à la valeur $\frac{109}{81}$ de a, et que nous nommerons m' et n', pour les distinguer des précédentes,

$$\sin m' = \sqrt{\frac{47168}{52488}}, \quad \sin n' = \frac{81}{109}\sqrt{\frac{47168}{52488}}.$$

$$\text{Log}\, 47168 = 4.6736475, \quad \frac{1}{2}\log 47168 = 2.3368237$$

$$\text{Log}\, 52488 = 4.7200600, \quad \frac{1}{2}\log 52488 = 2.3600300$$

Log sin m'	$=$ 9.9767937
Log 81	$=$ 1.9084850
Log sin m' + log 81	$=$ 11.8852787
Retranchant log 109	$=$ 2.0374265
Log sin n'	$=$ 9.8478522

Les tables donnent, pour m' et n',

$$m' = 71^\circ\ 26'\ 6'', 276 \quad n' = 44^\circ\ 47'\ 7'', 406$$

et à cause de $2y' = \pi - 2(3n' - m')$

$$2y' = 54^\circ\ 9'\ 34''.$$

Pour le premier arc-en-ciel, on a trouvé $2y > 2y'$, pour le second $2y' > 2y$; donc, les couleurs de ces deux arcs vont, dans le premier, en comptant de l'horison, du violet au rouge, et dans le second, du rouge au violet.

La largeur du second arc a pour expression, ... $2y' - 2y = 3^\circ\ 10'\ 53''$

tandis que la largeur du premier est $1^\circ\ 45'\ 36''\ 7$.

Les deux arcs-en-ciel correspondant à $p = 1$ et $p = 2$ étant souvent visibles en même temps, on pourra vérifier par expérience la mesure des angles donnés par le calcul. Les différences qu'on observera seront dues au diamètre du soleil, dont on a fait abstraction, et elles seront d'ailleurs très-petites ; l'effet de ce diamètre est d'augmenter la largeur des arcs-en-ciel, et de diminuer l'intervalle qui les sépare.

Nous terminerons cet article par une note historique sur l'arc-en-ciel.

Note historique sur l'Arc-en-Ciel.

Les anciens philosophes qui ont cherché l'explication de l'arc-en-ciel, supposoient que ce phénomène étoit un effet de la réflexion de la lumière à la surface des gouttes d'eau répandues dans l'air suivant un certain ordre ; des idées plus justes prirent la place de ces hypothèses, lorsqu'on connut l'expérience de *Marc-Antoine* Dominis, archevêque de Spalatro, mort à Rome en 1625, dans les prisons de l'inquisition. Avant de publier le Traité de théologie qui a été la principale cause de ses malheurs, ce prélat avoit écrit un ouvrage d'optique : « *De Radiis visûs et lucis in vitris perspectivis, et iride, tractatus*, » petit *in*-4°. de 78 pag., imprimé à Venise en 1611. La première partie de cet ouvrage traite des verres de lunettes et de leur usage pour remédier aux défauts de la vue. L'arc-en-ciel est le principal sujet de la seconde partie. L'explication de ce

phénomène n'est pas aussi heureuse qu'on auroit pu l'attendre de l'expérience qui lui sert de base, et qui consiste à suspendre une fiole ou une petite boule en verre remplie d'eau, de manière qu'elle soit éclairée par les rayons du soleil. Un spectateur, placé convenablement entre le soleil et la boule d'eau, voit deux spectres colorés, tout aussi distincts que ceux qu'on obtient par des prismes de verre. L'auteur de cette expérience en a conclu que la goutte de pluie d'une forme sphérique devoit produire les mêmes effets que la boule d'eau; il a ajouté à cette conclusion la véritable raison de l'apparence circulaire de l'iris: mais en admettant un faux principe, qui d'ailleurs lui sembloit prouvé par son expérience, il passa bientôt de la vérité à l'erreur. Il a supposé que, lorsque la lumière se réfléchissoit dans l'intérieur des corps transparens, cette réflexion se faisoit et ne pouvoit se faire que *de deux manières*. Il ne se douta pas que le même rayon de lumière pouvoit subir dans l'intérieur de la goutte d'eau un nombre indéfini de réflexions; et, d'après son principe, il s'est dispensé de rechercher la raison des rayons efficaces. Cette dernière découverte exigeoit plus de connoissances mathématiques que n'en avoit *M.-A. Dominis;* elle étoit réservée à *Descartes*.

Dans le même temps où l'ouvrage de *Dominis* a paru, on s'occupoit avec succès, en Hollande, de dioptrique. *Jacques* Metius, habile artiste, frère du géomètre *Adrien* Metius, avoit fait

hommage d'une lunette d'approche aux États-Généraux de Hollande de 1609; *Snellius Wilbrod*, professeur de mathématiques à Leyde en 1613, avoit trouvé cette loi si simple de la réfraction, *que les sinus d'incidence et de réfraction sont dans un rapport constant.* Quoique les deux ouvrages imprimés de ce géomètre, *Erasthotenes batavus* et *Cyclometrium*, ne fassent pas mention de cette découverte; quoiqu'un jésuite allemand, *Scheiner*, n'en ait point parlé dans un ouvrage d'optique publié en 1619, sous le titre de *Oculus*, cependant *Vossius* (*Isaac*), né à Leyde en 1618, ne laisse aucun doute sur cette époque de l'histoire de l'optique; il dit positivement dans son Traité *De Lucis Naturâ et Proprietate*, imprimé en 1662, que *Wilbrod Snellius* avoit laissé à ses héritiers trois livres d'optique inédits, dans lesquels on trouve l'énoncé très-clair et très-précis de la loi de la réfraction. *Descartes*, qui a passé de France en Hollande en 1629, a dû connoître les travaux des savans hollandais; et quoiqu'il ne cite pas *Snellius* dans son traité d'optique, qui a paru en 1637, on doit regarder ce géomètre comme l'inventeur de la loi de réfraction. D'ailleurs, si *Descartes* ne l'avoit pas supposée connue, ou il l'auroit démontrée, ou il l'auroit présentée comme un résultat d'expériences. Loin de le démontrer, il se perd en faux raisonnemens sur les causes de la réfraction; car *Leibnitz* paroît être le premier qui ait considéré la lumière comme un corps soumis à la loi gé-

nérale de l'attraction. (Voy. son Mémoire : *Acta Eruditorum. Lipsiæ*, 1682.) Quant à l'application de la découverte de *Snellius* à la détermination des rayons rouges efficaces dans l'arc-en-ciel, elle est bien due à *Descartes*, et on connoît par sa Dioptrique la méthode de calcul qui lui a donné le véritable diamètre de l'arc-en-ciel; voici en quoi elle consiste.

Après avoir appliqué la loi de la réflexion de la lumière aux réflexions successives qu'un même rayon lumineux peut subir dans l'intérieur d'un corps transparent, *Descartes* examine ce que deviennent des rayons de lumière parallèles entr'eux, qui tombent sur un cercle d'un rayon 10000, sous des angles tels que leurs sinus croissent en progression arithmétique depuis 1000 jusqu'à 10000, la raison de cette progression étant 1000. Ayant calculé pour une, et ensuite pour deux réflexions les angles des rayons sortans du cercle avec les rayons entrans, il a vu que pour le premier arc-en-ciel, ces angles augmentoient d'abord depuis 5° 40′, correspondant au sinus d'incidence 1000, jusqu'à 40° 57′ correspondant au sinus 9000; qu'ils diminuoient ensuite de telle sorte qu'au sinus de 10000 égal au rayon, correspond un angle de 13° 40′. Connoissant, par ces premiers essais de calcul, que les rayons sortans qui sont les moins divergens entr'eux, correspondoient à un angle d'incidence compris entre ceux dont les sinus sont 9000 et 10000, il est parvenu, d'après les mêmes essais, aux angles de 42° et de 51° que les rayons

rouges efficaces font avec les rayons solaires dans le premier et le second arc-en-ciel. Cette méthode est très-ingénieuse, et n'auroit rien laissé à desirer, si à cette époque on eût connu le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction pour les rayons violets, comme on le connoissoit pour les rayons rouges; *Descartes* le supposoit pour ces derniers rayons, égal à $\frac{250}{187}$; qui diffère peu de celui de 4 à 3.

L'angle des rayons efficaces avec les rayons solaires étoit évidemment, d'après les calculs numériques précédens, un *maximum*. *Newton* a déterminé cet angle d'après les méthodes d'analyse déjà connues de son temps, et il a complété la théorie de l'arc-en-ciel, en démontrant la différence de la réfrangibilité des rayons colorés. Son optique a paru en 1704; d'où il résulte qu'en s'approchant toujours de plus en plus de la vérité, on s'est occupé environ cent ans de l'arc-en-ciel, avant qu'on ait trouvé une explication juste et complette de ce phénomène.

On a terminé les leçons sur la lumière par la description de l'œil de l'homme et par l'explication des principaux instrumens d'optique, tels que les chambres obscures, les microscopes, les lunettes, les télescopes, etc.

ONZIÈME LEÇON (1).

De l'Électricité.

De la production du Fluide électrique et de ses principaux caractères.

Tous les corps de la nature peuvent être électrisés; on reconnoît qu'ils le sont effectivement lorsqu'ils exercent entr'eux une action à distance, qui se manifeste par des attractions et des répulsions.

Depuis environ cent ans que les phénomènes électriques sont observés avec soin, on a recueilli un grand nombre de faits qu'on a cherché à lier entr'eux par des systêmes ou des théories qui ont servi de guides, soit pour exposer les vérités connues, ou pour en découvrir de nouvelles; les hypothèses qui ont rempli ce double objet s'accordent sur ce point; que tous les phénomènes électriques sont dus à un fluide particulier, auquel on a donné le nom de *fluide électrique ;* mais elles diffèrent entr'elles relativement à la nature et aux propriétés de ce fluide.

En admettant l'existence d'un fluide électrique, nous nous proposons de rapporter tous les phénomènes qu'il présente à autant de faits principaux qu'il est nécessaire, pour que les autres faits électriques s'en déduisent comme conséquences.

(1) Ce Précis sur l'Électricité a déjà été imprimé en 1805.



La science qui traite des phénomènes électriques, se nomme *électricité ;* souvent on emploie ce mot pour désigner le fluide électrique même.

Les moyens par lesquels on électrise les corps sont ou chimiques ou mécaniques.

Les dissolutions, les combinaisons, les changemens d'état dus à l'action du calorique, sont presque toujours accompagnés de phénomènes électriques.

Les moyens mécaniques sont le frottement, la pression et le simple contact.

La plupart des corps solides frottés deux à deux s'électrisent sensiblement ; la résine connue sous le nom d'*ambre jaune* ou *succin*, est le premier corps en qui l'on ait remarqué la singulière propriété de s'électriser par le frottement : l'histoire attribue cette découverte à Thalès, de Milet, philosophe grec qui florissoit six cents ans avant J.-C.

Le frottement des corps solides contre les liquides et les gaz peut aussi produire de l'électricité, mais il y en a peu d'exemples : cependant on sait que le verre, frotté sur le mercure liquide, s'électrise ; il y a des tourmalines qui, ayant été exposées quelque temps à un courant d'air, deviennent électriques comme par la chaleur.

La pression est un autre moyen de produire de l'électricité ; Æpinus a observé que deux morceaux de glace de quelques centimètres quarrés, étant fortement pressés et ensuite désunis, demeuroient électrisés.

Le simple contact donne encore naissance aux phénomènes électriques ; les corps solides qui, après s'être touchés, donnent les signes les plus apparens d'électricité, sont le zinc et l'argent, le zinc et l'oxide de manganèse, etc. Quelques corps solides s'électrisent aussi par leur contact avec des liquides, mais il est possible que les phénomènes électriques qui en résultent soient dus en tout ou en partie à l'action chimique que le liquide exerce sur le solide.

De la Communication du Fluide électrique.

Un corps métallique électrisé et mis en contact avec d'autres corps, se comporte bien différemment suivant la nature des substances avec lesquelles il communique ; l'air très-sec, la soie, le verre, les résines, etc. lui enlèvent très-peu de fluide électrique; d'autres substances, telles que l'air humide, l'eau et principalement tous les métaux, produisent l'effet contraire. Le fluide électrique se répand presqu'instantanément sur la surface de ces derniers corps, pris séparément ou réunis; et si cette surface est considérable par rapport à celle du corps électrisé, le fluide électrique cesse d'être sensible : cette observation a donné lieu à la division des corps en *bons* et *mauvais conducteurs* d'électricité. Pour comparer la faculté de conduire le fluide électrique dans différentes substances, on pourroit donner à chacune d'elles la forme d'un fil, qui auroit un diamètre et une longueur déterminés, et ayant mis l'une

des extrémités du fil en communication avec un corps métallique dont l'état électrique seroit constant, le temps que l'électricité auroit employé à passer à l'autre extrémité, seroit la mesure de la faculté conductrice. En faisant cette expérience sur les métaux, on n'a pas remarqué de différence sensible dans le temps de la communication, et même pour chacun d'eux ce temps est si court, que quelle que soit d'ailleurs la longueur des fils métalliques, il n'y a aucun moyen de l'apprécier : on dit d'un corps électrisé qu'il est *isolé*, lorsqu'il ne communique qu'avec de *mauvais conducteurs*.

La connoissance de la faculté conductrice de différens corps pris séparément, ne dispense pas de déterminer par expérience les changemens qu'elle éprouve dans ces mêmes corps réunis et superposés ; on a observé que la vitesse du fluide électrique diminuoit sensiblement, en passant d'une substance à une autre ; en sorte qu'ayant un cylindre formé d'abord de deux parties égales mises bout à bout, l'une de métal et l'autre de bois, si on les coupe par tranches et qu'on alterne les tranches de bois et de métal, pour former un cylindre égal au premier, les deux cylindres ne sont pas également conducteurs, la discontinuité diminue la faculté conductrice.

Un corps est d'autant plus électrisé qu'il y a plus de fluide électrique accumulé à sa surface ; lorsque deux corps homogènes, de forme parfaitement égale, pris dans la classe des bons con-

ducteurs, sont électrisés, si on les met en contact en des points semblablement placés sur leurs surfaces, le fluide électrique se répartit symétriquement sur chacun des corps; ainsi, deux boules sphériques égales, ou deux disques métalliques égaux, électrisés et mis en communication, se partagent également l'électricité dont ils étoient chargés; dans l'exemple particulier des sphères, le partage est égal, et de plus il est uniforme lorsque les sphères sont séparées, c'est-à-dire, que le fluide électrique a par-tout la même intensité; cette uniformité n'a lieu que pour cette surface.

Si les corps mis en contact n'ont pas été pris dans la classe des bons conducteurs, le temps nécessaire pour le partage du fluide électrique entre les surfaces de ces corps, varie selon qu'ils sont plus ou moins conducteurs.

C'est cette propriété du fluide électrique de passer plus ou moins facilement à travers les corps, qui a donné le moyen de le fixer, de l'accumuler et d'en étudier les effets; ce fluide nous seroit probablement inconnu, si tous les corps avoient une faculté conductrice égale à celle des métaux, ou qui en fût peu différente.

De l'Attraction et de la Répulsion des Corps électrisés.

Tous les corps électrisés se comportent de la même manière par rapport à ceux qui ne donnent aucun signe d'électricité, ils les attirent à distances, mais leur action réciproque n'est pas

constante ; l'expérience apprend que des corps électrisés tantôt s'attirent, tantôt se repoussent ; le verre et la résine frottés contre la laine s'électrisent ; si on suspend à deux fils de soie deux disques métalliques très-minces, tels que deux rondelles de papier doré ou de feuille d'étain, si on les met tous deux en communication avec le verre ou la résine, électrisés par le frottement contre la laine, les disques rapprochés suffisamment pour se trouver dans la sphère d'activité l'un de l'autre, s'écarteront ; mais si on touche l'un avec le verre et l'autre avec la résine, ils se rapprocheront.

Cette expérience, qui prouve l'attraction des corps électrisés dans un cas, et leur répulsion dans l'autre, a donné lieu aux différentes hypothèses qui ont été faites sur la nature du fluide électrique.

Franklin a supposé que le globe terrestre étoit un réservoir inépuisable de fluide électrique ; que chaque corps en contenoit une certaine quantité qui dépendoit de son affinité pour ce fluide ; qu'il pouvoit ou en recevoir des corps environnans, ou en perdre pour le communiquer aux mêmes corps ; qu'enfin le fluide ne devenoit sensible pour nous que lorsque, par une rupture d'équilibre, il se trouvoit ou en excès ou en défaut ; d'où résultoit la distinction de fluide électrique *positif* et *négatif*, de corps électrisés *positivement*, *négativement*, et de corps *dans l'état naturel*.

Symmer, regardant aussi le globe terrestre

comme un réservoir commun de fluide électrique, dont chaque corps a sa quantité naturelle, n'a pas supposé, comme Franklin, que ce fluide fût simple; il le considère comme un composé de deux autres fluides distincts, combinés entr'eux, comme l'oxigène et l'hydrogène dans l'eau, ou l'hydrogène et l'azote dans l'ammoniaque; on distingue ces fluides par les épithètes de *vitré* et *résineux*. D'après cette hypothèse, le fluide électrique naturel ne devient sensible que lorsque, par quelques circonstances, il se décompose en ses élémens.

Quel que soit le système qu'on adopte pour classer les faits connus sur l'électricité, il faut admettre comme des propositions démontrées par l'expérience, 1°. *que deux corps électrisés positivement ou négativement se repoussent;* 2°. *que deux corps dont l'un est électrisé positivement et l'autre négativement s'attirent;* et parce que la force attractive ou répulsive n'auroit pas moins lieu, lors même que les corps retenus par quelques obstacles, ou seulement par la pesanteur, ne lui obéiroient pas, on peut énoncer ces propositions d'une autre manière, et dire que *les fluides électriques de même espèce se repoussent, et les fluides d'espèce différente s'attirent.*

De l'Electricité positive et négative.

Il y a plusieurs caractères par lesquels on distingue les deux espèces d'électricité positive et négative, ou vitrée et résineuse; un corps ter-

miné en pointe étant électrisé positivement, il présente dans l'obscurité une aigrette en forme de cône, qui a son sommet à l'extrémité de la pointe; si le même corps est électrisé négativement et placé dans le même lieu, l'aigrette se change en un petit globule lumineux.

Deux sources constantes d'électricité, l'une positive et l'autre négative, communiquant par deux fils métalliques à l'eau contenue dans un vase, l'eau se décompose, le gaz oxigène se dégage par le fil qui communique à la source positive, ou se combinant avec lui, le change en un oxide; en même temps, le gaz hydrogène s'échappe en bulles très-abondantes de l'électricité du fil qui communique à la source négative.

De la Tension du Fluide électrique et des Électromètres.

On nomme *tension* la force avec laquelle deux molécules contiguës d'un corps électrisé tendent à s'écarter; les instrumens qui servent à mesurer ou estimer cette force, se nomment *électromètres.*

La quantité totale d'électricité répandue uniformément sur une surface plane, dépend et de la grandeur de la surface et du nombre de molécules de fluide électrique fixé sur une portion déterminée de cette surface; en multipliant la tension de ce fluide par la grandeur de la surface, le produit exprime une force qu'on prend pour mesure de la quantité totale d'électricité; si le corps électrisé est terminé par une surface courbe,

on la conçoit divisée en un assez grand nombre de parties, pour que chacune d'elles puisse être considérée comme un petit plan ; multipliant chaque partie par la tension du fluide qui y correspond, la somme de tous les produits est la *quantité totale d'électricité*. Pour mesurer la tension du fluide électrique sur un élément quelconque d'une surface courbe, on se sert de l'électromètre de *Coulomb*, connu sous le nom de balance électrique.

De la Balance électrique.

Les expériences de Coulomb ont prouvé que, si un fil de métal, de soie ou de toute autre matière flexible, étoit suspendu à un point fixe, et tordu par une force agissante à l'extrémité d'un lévier constant, l'arc parcouru par le lévier pour tordre le fil, est proportionnel à la force qui produit la torsion; d'où il suit qu'ayant pris pour unité de force celle qui est capable de tordre un fil donné d'un angle déterminé, par exemple de 30°, la force capable de le tordre de *n* fois 30°, en agissant à l'extrémité du même bras de lévier, est *n* fois la force prise pour unité : ce résultat sert de base à la construction de la balance électrique.

La partie principale de cet instrument est un fil attaché par un bout sur le fond d'une petite boîte cylindrique, et portant à l'autre bout un lévier très-mince de gomme laque ; à l'une des extrémités de ce lévier est un petit disque de

papier doré, et à l'autre extrémité on place un contre-poids pour tenir le lévier dans une position horizontale; lorsque le fil de suspension est dans son état naturel, le disque touche une petite boule métallique fixe, sur laquelle on apporte, à l'aide d'un petit disque aussi isolé, une partie du fluide électrique dont on veut mesurer l'intensité; aussitôt que la boule et le disque qui la touche sont électrisés, le disque s'en éloigne, le fil se tord, et des divisions placées sur la cage en verre qui renferme la balance, donnent la mesure de l'angle de torsion; l'objet de la cage est de maintenir la balance dans un air calme.

La force répulsive qui agit sur le disque mobile n'est pas la seule qui puisse tordre le fil; le fond de la boîte cylindrique à laquelle ce fil est attaché, tourne sur lui-même, et par ce mouvement de rotation qu'on mesure exactement, on augmente ou l'on diminue à volonté la torsion due à la force répulsive qui agit sur le disque.

L'instrument étant ainsi disposé, il peut servir à résoudre les deux questions suivantes :

Première question. La boule fixe étant électrisée, elle agit sur le disque mobile et le repousse, mais sa force répulsive diminue à mesure que le disque s'éloigne; les distances de la boule fixe au disque étant données, on demande la mesure des forces répulsives qui y correspondent?

Deuxième question. Ayant électrisé la boule fixe, et mesuré exactement l'arc compris entre cette boule et le point où le disque mobile s'est



arrêté, on demande la mesure de la force répulsive du fluide électrique qui correspond à une distance donnée, autre que celle du point où le disque mobile s'est arrêté.

Solution de la première question: Prenons pour unité de force de torsion celle qui est capable de tordre le fil d'un arc α°, et supposons que le disque mobile étant placé à l'extrémité de deux arcs A et B, comptés de la boule fixe, il soit soumis à deux torsions mesurées par les arcs $A \pm a$ et $B \pm b$,, les forces de torsions correspondantes à ces deux arcs seront $\frac{A \pm a}{\alpha}$, $\frac{B \pm b}{\alpha}$.

Lorsque le disque est à l'extrémité de l'arc A, la force répulsive, qu'on suppose réunie au centre de ce disque, agit suivant la corde de cet arc et à une distance égale à $2 \sin \frac{A}{2}$, (le rayon du cercle décrit par le centre du disque étant 1), mais cette force étant décomposée en deux, l'une suivant la tangente et l'autre suivant le rayon de l'extrémité de l'arc A, la première est par hypothèse égale à $\frac{A \pm a}{\alpha}$; donc on aura $\cos \frac{A}{2} : \frac{A \pm a}{\alpha} :: 1 :$ à la force répulsive correspondante à la distance $2 \sin \frac{A}{2}$; donc cette force est égale à $\frac{A \pm a}{\alpha \cos \frac{A}{2}}$, par la même raison, la force répulsive correspondante à la distance $2 \sin \frac{B}{2}$, sera $\frac{B \pm b}{\alpha \cos \frac{B}{2}}$. En

multipliant les expériences pour une suite d'arcs *A, B, C, D*, etc., Coulomb a trouvé que les forces répulsives étoient en raison inverse des quarrés des distances auxquelles ces forces agissent.

On a observé que les corps, de la nature des bons conducteurs, perdoient instantanément leur électricité dans le vide, et de-là est venue l'expression assez inexacte, que *le vide est un bon conducteur;* il suit de cette expérience que le fluide électrique se porte vers la surface des corps, et qu'il n'y est retenu dans l'état d'équilibre que par la pression de l'atmosphère ; ce résultat d'expérience n'a encore pu être prouvé rigoureusement, d'après la loi de Coulomb sur les forces répulsives, que pour le cas où la surface des corps électrisés est sphérique ou ellipsoïde de révolution; mais le calcul d'où l'on déduit cette conséquence, suppose que le fluide électrique n'a, pour les molécules du corps électrisé, ni affinité, ni adhérence, et cette hypothèse n'est sensiblement vraie que pour les corps de la nature des bons conducteurs, car les corps *mauvais conducteurs,* tels que la résine, lors même qu'ils sont placés dans le vide ou touchés par d'autres corps dans l'état naturel, perdent difficilement le fluide électrique dont ils sont pénétrés.

Solution de la deuxième question : Nommons *F,* la force répulsive du fluide électrique capable de tordre le fil d'un arc, par exemple, de 30°, en agissant à la distance $2 \sin \frac{30°}{2}$; qui est la longueur de la corde suivant laquelle cette force est dirigée.

Supposons que le disque mobile chargé de l'électricité de la boule fixe s'en soit écarté d'un angle de m°, il s'agit de trouver, en supposant que cette force agisse à la distance $2\, sin \frac{30^\circ}{2}$, la force répulsive correspondante à cet arc.

On fera tourner la boîte cylindrique qui supporte le fil, jusqu'à ce que la combinaison des deux torsions supérieure et inférieure le ramène à l'extrémité de l'arc 30°, et on observera la torsion qu'il éprouvera dans cette position; soit t cette torsion, $\frac{F\,t}{30^\circ - cos \frac{30^\circ}{2}}$ sera la force répulsive demandée; elle agit comme la force F, suivant la corde de l'arc de 30° et à la même distance $2\, sin \frac{30^\circ}{2}$; on détermine de la même manière par l'expérience la force répulsive correspondante à un angle quelconque autre que m°.

En admettant la loi de décroissement de la force répulsive, en raison inverse du quarré des distances auxquelles elle agit, on pourra conclure cette force répulsive, de la première expérience qui donne l'angle de torsion m°; car d'après cette expérience, et ce qui a été dit page 143, la force répulsive, à la distance $2\, sin \frac{m}{2}$, est $\frac{\left(\frac{m}{d}\right)}{cos \frac{m}{2}}$;

or, si on nomme D la distance qu'on adopte pour

comparer toutes les forces répulsives, on aura :

$$D^2 : 4\,\overline{\sin\frac{m}{2}}^2 :: \frac{\left(\frac{m}{\alpha}\right)}{\cos\frac{m}{2}} :$$ à la force répulsive agissant à la distance D; ce qui donne pour l'expression de cette force :

$$\frac{4\,\overline{\sin\frac{m}{2}}^2 \times \frac{m}{\alpha}}{D^2 \cos\frac{m}{2}}.$$

La solution des deux questions précédentes, par la balance électrique, suppose que le disque mobile et la boule fixe se touchent, lorsqu'ils sont l'un et l'autre dans l'état naturel ; mais il arrive assez ordinairement qu'au lieu du simple contact il y a entr'eux un peu d'adhérence, soit à cause de l'humidité ou d'une foible torsion du fil qui soutient le disque ; pour éviter cet inconvénient, on pourroit à chaque expérience laisser entre la boule et le disque un petit arc ω, et en comparant les forces répulsives pour la même distance ou la corde du même arc, on obtiendroit les mêmes résultats ; supposons que, le fil n'éprouvant aucune torsion, l'électricité de la boule fixe en éloigne le disque d'un arc de n°, le fil ne sera tordu que d'un arc de $(n - \omega)^\circ$, et la force répulsive de la boule sur le disque agira suivant la corde de l'arc n°, et à une distance égale à la longueur de cette corde ; or, la force

de torsion correspondante à $(n - \omega)^{\circ}$, est $\frac{n - \omega}{\alpha}$; donc la force répulsive, suivant la corde de l'arc n°, est $\frac{n - \omega}{\alpha \cos \frac{n}{2}}$; cette force agissant à la distance $2 \sin \frac{n}{2}$, elle deviendra à la distance D, le quatrième terme de cette proposition;

$$D^2 : 4 \overline{\sin \frac{n}{2}}^2 :: \frac{n - \omega}{\alpha \cos \frac{n}{2}} : x = \frac{4 \overline{\sin \frac{n}{2}}^2 (n - \omega)}{\alpha D^2 \cos \frac{n}{2}}.$$

Ces méthodes, par lesquelles on compare les effets de plusieurs forces agissantes à la même distance, ou d'une force unique qui agit à différentes distances, supposent que ces forces ne changent pas, au moins sensiblement, pendant l'expérience, ce qui n'est vrai que lorsque l'air qui environne le corps électrisé est parfaitement sec; si cette dernière circonstance n'a pas lieu, il faut tenir compte de la diminution de tension résultante de l'état de l'atmosphère, ce qui peut se faire au moyen de tables semblables à celles qui ont été données par Coulomb, pour plusieurs substances isolantes; ces tables indiquent la hauteur du baromètre, le degré du thermomètre et de l'hygromètre, au moment où l'on a observé sur les substances électrisées et isolées les diminutions de tension électrique.

De tous les électromètres, la balance électrique

est celui qui donne la mesure la plus exacte de la *tension*, et il n'y en a aucun qui, sous ce rapport, lui soit préférable; mais lorsqu'il ne s'agit que d'estimer une augmentation ou une diminution de tension, ou de reconnoître à quelle espèce d'électricité cette tension est due; il est plus commode de faire usage de l'électromètre connu sous le nom d'électromètre de *Saussure*, de *Bennet*, d'électromètres à *Pailles*, etc.; il est formé de deux fils ou lames métalliques suspendues à une boule aussi métallique; cette boule est fixée au col d'une bouteille ronde ou quarrée, destinée à mettre les fils à l'abri des courans d'air; on enveloppe quelquefois chacun des fils d'un brin de paille, qui lui sert de fourreau et n'en laisse que l'extrémité à découvert (1). Cet instrument est très-sensible et peut indiquer une électricité d'une très-foible tension; l'électromètre à pendule donne un moyen facile d'estimer l'électricité d'une forte tension; il consiste en un petit montant de bois vertical terminé dans la partie supérieure par un disque demi-circulaire divisé en degrés; au centre de ce disque est placé un pendule dont les oscillations, mesurées sur l'arc du disque, indiquent le plus ou moins d'intensité du fluide électrique.

---

(1) Le fluide électrique n'étant pas distribué uniformément sur ces fils, il seroit difficile d'indiquer la position de la résultante de toute les forces répulsives; dans l'hypothèse où le fluide électrique n'a qu'une très-foible tension, on obtient du fourreau de paille cet avantage, que la force répulsive n'agit sensiblement qu'aux extrémités des fils qu'il laisse à découvert.

De l'Influence électrique.

Deux corps électrisés et placés à une certaine distance, n'agissent pas sensiblement l'un sur l'autre, et si ces corps sont sphériques, leurs surfaces restent uniformément électrisées ; mais lorsqu'on diminue la distance qui les sépare, ils deviennent capables d'agir l'un sur l'autre ; la distribution du fluide électrique sur les surfaces de ces corps éprouve un changement très-sensible. Cette action réciproque des corps électrisés constitue ce qu'on nomme *influence électrique.*

Quelle que soit la forme des corps électrisés mis en présence, et la tension de l'électricité dont ils sont chargés, on pourra prévoir tous les changemens de distribution du fluide électrique d'après cette loi énoncée (*pag.* 139) : *les fluides électriques de même espèce se repoussent, et les fluides de différente espèce s'attirent.*

Ainsi deux corps électrisés de la même manière, étant soumis à l'influence l'un de l'autre, la tension de l'électricité décroît dans les parties de ces corps les plus voisines, et elle croît dans les parties les plus éloignées. Le contraire arrive si les corps mis en présence ne sont pas électrisés de la même manière.

Ces effets de l'influence donnent le moyen de reconnoître l'espèce d'électricité en vertu de laquelle les fils ou les lames des électromètres s'écartent.

Considérons maintenant l'action d'un corps

électrisé sur un corps qui est dans l'état naturel, et celle de ce dernier sur le corps électrisé.

Pour rendre sensible l'action d'un corps électrisé sur un autre corps qui est dans l'état naturel, on peut se servir d'un appareil très-simple, qui consiste en une petite verge de cuivre ou de fer d'environ un décimètre de longueur, portée dans son milieu par un bâton de cire à cacheter. On termine cette verge par deux petites boules; et pour indiquer la présence du fluide électrique aux deux extrémités, on y place deux fils très-minces de soie ou de lin qui sont pliés en deux, et qui s'écartent aussitôt qu'ils sont électrisés.

L'appareil étant ainsi disposé, on frotte un bâton de cire à cacheter, on l'approche d'une des extrémités de la verge métallique; aussitôt les deux fils de soie divergent; éloignant le bâton de cire à cacheter, les fils reprennent leur état primitif; rapprochant de nouveau le bâton de cire, la divergence des fils a encore lieu; et il est facile de reconnoître que l'écartement des fils voisins du bâton de cire électrisé est dû à une électricité contraire à celle du bâton, tandis que les fils qui en sont les plus éloignés divergent en vertu d'une électricité semblable; on approche de ces derniers fils un autre corps électrisé, et on observe que ce nouveau corps fait croître ou décroître la divergence des fils placés à l'extrémité de la verge métallique la plus éloignée du bâton de cire, et qu'il produit un effet contraire sur les fils placés à l'autre extrémité; ce qui ne peut avoir lieu que

lorsque les électricités des deux extrémités sont différentes. Cette différence d'électricité est encore prouvée par l'expérience suivante :

On place bout à bout deux cylindres métalliques, par exemple deux cylindres de bois, couverts de feuilles d'étain ; les tenant par des supports isolans, on les présente à l'influence d'un corps électrisé. Tandis qu'ils sont soumis à cette influence, on les sépare ; l'un, celui qui étoit le plus éloigné du corps influent, est électrisé comme lui, et l'autre est électrisé d'une manière différente. Si le dernier cylindre communiquoit avec le réservoir commun, le système des deux cylindres et du réservoir n'en seroit pas moins électrisé par influence, et l'électricité seroit croissante depuis le réservoir commun jusqu'à l'extrémité voisine du corps influent.

On obtient un effet semblable en se servant de l'appareil qui a été décrit plus haut. Tandis que l'une des extrémités de la verge métallique est soumise à l'influence d'un corps électrisé, si l'autre extrémité touche le réservoir commun ou un corps isolé d'une masse suffisante, aussitôt après le contact, la verge est électrisée d'une électricité contraire à celle du corps influent ; il est évident qu'après le contact on n'a laissé que le fluide électrique accumulé à l'extrémité de la verge métallique la plus voisine du corps influent ; pour produire le même effet, l'action de l'air suffit, sur-tout lorsque la verge est terminée en pointe ; alors le fluide électrique accumulé sur

cette partie se dissipe de lui-même dans l'air. C'est ce qui arrive aux corps légers qui sont attirés par des corps non conducteurs électrisés, et se fixent à leur surface; ils se comportent de la même manière que la verge métallique terminée par une grande pointe (1).

---

(1) On explique par les influences comment les poussières des corps, projettées sur d'autres corps électrisés, se fixent à la surface de ces derniers; mais j'ai observé dans l'arrangement de ces poussières une circonstance assez remarquable; elles se disposent toujours sur les plateaux électrisés négativement en globules arrondis bien distincts, et sur les plateaux électrisés positivement en aigrettes, quelle que soit la nature et du plateau et des poussières qu'on y tamise. Je rends compte, par cet arrangement, de ce qui se passe dans une expérience vraiment curieuse et qu'on ne manque pas de répéter dans les cours d'électricité; après avoir fait glisser légèrement sur un gâteau de résine une petite boule qui communique d'abord avec une source d'électricité positive, et ensuite avec une source d'électricité négative, on la dirige dans son mouvement, de manière que les lignes électrisées, les unes en *plus*, et les autres en *moins*, soient entrelacées; au moyen d'un soufflet dont le fond est garni d'une toile, et qui se replie sur lui-même, on projette sur le gâteau un mélange de minium et de soufre pulvérisés et bien mêlés; on voit les lignes électrisées négativement prendre une couleur rougeâtre, tandis que les lignes électrisées positivement prennent la couleur blanche du soufre. Quelques physiciens expliquent ces apparences par l'affinité élective du soufre pour l'électricité positive, et du minium pour la négative; mais on sera dispensé d'admettre ce mode d'affinité, en observant, 1°. que les poussières du mélange de soufre et de minium se portent en globules arrondis sur l'électricité positive; 2°. que le soufre plus léger et d'une couleur plus tranchée que le minium, se répand

Ainsi un corps qui ne donne aucun signe d'électricité, et qui, par cette raison, est considéré comme étant dans l'état naturel, perd cet état aussitôt qu'il est dans la sphère d'activité d'un autre corps électrisé ; les parties de ces deux corps les plus voisines s'électrisent de manières différentes, et les parties les plus éloignées de la même manière.

Si la tension de l'électricité est beaucoup plus considérable sur l'un des corps que sur l'autre, le corps le moins électrisé se comportera comme s'il étoit dans l'état naturel, et pourra être attiré par le corps le plus électrisé; ainsi, lorsqu'on dit que deux corps électrisés de la même manière se repoussent, il faut supposer que l'influence n'ait pas changé sur l'un des deux la nature du fluide électrique.

Quand les corps électrisés soumis à l'influence sont terminés par des surfaces arrondies, les fluides positif et négatif peuvent, en s'accumulant sur les parties les plus voisines de ces surfaces, acquérir un degré de tension tel que l'air interposé ne soit plus un obstacle à leur réunion ; alors ce milieu est frappé, comprimé, d'où résulte le bruit qui accompagne l'étincelle.

Si les corps, au lieu d'être arrondis, sont terminés en pointes, ou couverts d'aspérités, la

---

en aigrettes plus développées et plus apparentes que les globules mélangés de soufre et de minium; ce qui fait distinguer la ligne *positive* de la *négative*.



communication du fluide électrique dans l'air se fait sans bruit, et la lumière beaucoup plus faible qui accompagne cette communication, n'est apparente que dans l'obscurité; mais quelle que soit la forme des corps entre lesquels part une étincelle, ce phénomène est toujours précédé de l'action de l'influence qui électrise positivement et négativement les parties de ces corps les plus voisines.

On ne détermine pas *à priori* de quelle manière le fluide électrique se distribue sur deux corps de forme donnée, qui sont soumis à leur influence réciproque; mais on sait que lorsqu'un des deux corps est terminé en pointe, le *maximum* de tension est à cette pointe, et s'il y a communication du fluide électrique entre les deux corps, c'est vers le lieu de cette plus grande tension que l'écoulement du fluide se fait le plus facilement; c'est sur cette propriété des pointes qu'est fondée la construction des paratonnerres.

Quant à l'action du corps qui est dans l'état naturel, sur le corps électrisé dont il éprouve l'influence, il résulte de ce qui vient d'être dit, que sur la partie de ce dernier corps la plus voisine de celui qui est dans l'état naturel, la tension de l'électricité augmente, tandis que sur la partie qui en est le plus éloignée, elle diminue; c'est ce qu'on vérifie à l'aide du même appareil qui a été décrit (*pag.* 150); après avoir électrisé la verge métallique, on approche d'une des extrémités un corps qui est dans l'état naturel, et on observe

que la divergence des fils placés à cette extrémité augmente très-sensiblement.

Nous avons supposé jusqu'à présent les corps électrisés placés dans un air sec, mais ce milieu n'est pas le seul à travers lequel l'influence s'exerce; elle a de même lieu à travers d'autres substances non conductrices, telles que le verre, la résine, etc., pourvu néanmoins que l'épaisseur de ces différens milieux ne s'étende pas au-delà de la sphère d'activité des fluides électriques.

Les corps conducteurs et non conducteurs s'électrisent par influence, mais la plupart de ces derniers s'électrisent beaucoup plus difficilement que les premiers. Cette difficulté est peut-être due à la densité des substances non conductrices; car l'air, quoique non conducteur, éprouve fortement et instantanément l'action de l'influence.

Ayant soumis à l'influence d'un corps électrisé une colonne d'air atmosphérique d'environ deux mètres, renfermé dans un tube de verre terminé par des plaques de cuivre, et ayant fait le vide dans le même tube, l'air et le vide ne m'ont pas présenté de différence sensible dans les effets de l'influence.

Des Instrumens ou Appareils dont la construction a pour base l'Influence électrique.

De l'Électrophore.

L'électrophore est composé d'un gâteau plan de résine et d'un disque métallique aussi plan,

qui est supporté dans son milieu par un manche isolant. Pour faire usage de cet instrument, on frotte le gâteau de résine avec un morceau de laine, ou mieux avec une peau garnie de poils; on pose sur ce gâteau le disque métallique. Après avoir fait communiquer la partie supérieure du disque avec le réservoir commun, on l'enlève par son manche isolant, et il se trouve électrisé. Remettant le disque dans son état naturel, et le posant encore sur la résine, on l'électrise de nouveau. Cette opération peut se répéter un grand nombre de fois, et à chaque fois on charge le disque d'une électricité dont la tension ne varie pas sensiblement, et qui est d'ailleurs assez élevée pour qu'on en tire de fortes étincelles. On voit facilement ce qui se passe dans cette opération; la résine étant électrisée perd difficilement le fluide électrique qui est engagé dans ses pores; celui qu'elle retient peu, passe au réservoir commun à la première communication du disque métallique avec ce réservoir. Celui qui reste agit par influence sur le disque qui est en communication avec la terre ou un corps isolé d'une masse suffisante; à l'instant où cette communication cesse, le disque se trouve électrisé d'une électricité contraire à celle du gâteau de résine. On pourroit substituer à la résine un plateau de verre ou toute autre substance non conductrice et électrisée.

Le disque métallique peut s'électriser, quoiqu'on n'établisse pas de communication entre lui et la terre; mais on remarque que, dans ce cas,

l'électricité est foible ; elle est due à l'état de l'air qui n'est pas parfaitement sec, et qui enlève une partie de l'électricité accumulée sur la surface supérieure du disque.

Des Condensateurs.

Un corps qui est dans l'état naturel étant mis en communication avec une source constante de fluide électrique, se charge d'une électricité dont le maximum de tension diffère peu de la tension de la source. L'objet du condensateur est de charger ce corps d'une électricité dont la tension soit plus élevée qu'elle n'est à la source.

Le condensateur est formé de deux disques de la nature de bons conducteurs, séparés par une substance de la classe des mauvais conducteurs. Pour faire usage de cet instrument, on met l'un des disques en contact avec le réservoir commun, ou un corps isolé d'une masse suffisante, et on fait communiquer l'autre disque avec la source d'électricité ; ce dernier s'électrise, et parce qu'il est soumis à l'influence d'un corps qui est dans l'état naturel, la face la plus voisine de ce corps est chargée d'une électricité plus élevée qu'à la source, tandis que la partie de la face qui est en communication avec la source est électrisée comme elle ; donc, si on éloigne le disque et du corps influent et de la source, au moyen d'un corps isolant, il manifestera une électricité d'une tension plus élevée qu'à la source même.

L'épaisseur de la substance qui sépare les dis-

ques du condensateur doit être proportionnée à la tension des sources avec lesquelles ils communiquent ; car, si elle est trop foible, les fluides électriques s'ouvrent un passage à travers la substance qui les sépare, et se neutralisent ; si elle est trop forte, l'influence électrique d'où dépend la condensation cesse d'avoir lieu ; d'où il suit qu'à chaque source d'électricité correspond un condensateur qui donne le *maximum* de tension à l'électricité qu'on accumule sur l'un de ses disques (1).

Le condensateur varie par la forme et la nature de la substance placée entre ses disques ; et pour distinguer ses variétés on lui a donné des noms différens, tels que : *jarre électrique ; bouteille de Leyde ; condensateur de Volta ; condensateur de Cavallo ; condensateur*, etc.

---

(1) M. Desormes a fait quelques expériences pour comparer la tension de l'électricité à la source, et la tension de l'électricité dont on charge le disque du condensateur. Il a électrisé un conducteur de machine électrique à différentes tensions qui étoient mesurées sur l'électromètre de Bennet, par les arcs de 3°, 4°, 5° . . . . . 8°. ; il a chargé un condensateur de deux pouces de diamètre en faisant communiquer son disque inférieur avec le réservoir commun, et le disque supérieur avec le conducteur électrisé, et en mesurant les tensions de l'électricité sur le disque supérieur, il les a trouvées de 9°, 16°, 25°, et enfin pour l'arc de 8° de tension à la source, l'étincelle électrique est partie spontanément du disque. D'où l'on voit qu'une petite augmentation de tension à la source en produit une très-grande sur le disque du condensateur.

La jarre est formée de deux feuilles d'étain appliquées et fixées sur les surfaces intérieure et extérieure d'un bocal de verre de forme cylindrique : on nomme ces feuilles métalliques *armures*. Une couche de résine ou de vernis isolant, mise sur les bords supérieurs du bocal, empêche la communication des armures. Pour charger une jarre, l'on fait communiquer l'une des surfaces du bocal avec une source d'électricité, et l'autre surface avec le réservoir commun; après un certain temps, qui dépend de la grandeur du bocal, on supprime la première communication, et les deux feuilles métalliques de la jarre sont électrisées. Si pour l'une le fluide électrique est positif, pour l'autre il est négatif. Le verre placé entre les deux feuilles est aussi électrisé sur chacune de ces faces, de l'électricité des feuilles qui les touchent.

Une jarre étant électrisée, les fluides électriques des armures tendent l'un vers l'autre, et exercent sur le verre une forte pression. Pour décharger la jarre, il faut vaincre l'attraction des fluides opposés; ce qui se peut faire de plusieurs manières : 1°. en établissant la communication entre les deux armures; 2°. en faisant communiquer à-la-fois ces deux armures avec le réservoir commun ou une grande masse isolée (1); 3°. en

(1) Le cabinet de physique de l'Ecole du Génie à Mézières étoit placé sur le bord de la Meuse; cette rivière, après avoir



les faisant communiquer alternativement avec le réservoir commun, ou des masses isolées et non électrisées.

Lorsqu'on emploie le premier ou le second moyen, on dépouille instantanément les armures du fluide électrique qui s'y étoit accumulé; mais le verre qui les sépare retient fortement et conserve encore long-temps les électricités qu'il avoit acquises par l'influence. La jarre, dans cet état, est un double électrophore qui a pour substance *influente* une bocal de verre électrisé d'un côté positivement, et de l'autre négativement.

De la Bouteille de Leyde.

La bouteille de Leyde ne diffère de la jarre électrique que par la forme. On couvre d'une feuille d'étain l'extérieur d'une bouteille de verre, on remplit l'intérieur de feuilles d'or ou de cuivre, on la ferme par un bouchon métallique qui communique avec l'intérieur et qui n'est séparé de la surface extérieure que par une couche de

fait un tour d'environ trois lieues, repasse à très-peu de distance du Cabinet. M. Monge eut l'idée de se servir de ce bras de rivière comme conducteur, pour mesurer la vitesse avec laquelle le fluide électrique passe d'une armure d'un bocal à l'autre armure. En faisant communiquer les armures avec les deux bras de la rivière, le bocal fut déchargé instantanément; mais cette expérience ne prouvoit pas, comme il l'a observé, que le fluide électrique eût traversé le bras entier de la rivière, mais seulement qu'il s'étoit dispersé dans les eaux de cette rivière.

résine appliquée sur le verre : la bouteille, dans cet état, se nomme *bouteille de Leyde*. Tout ce qu'on a dit de la jarre doit aussi s'entendre de la bouteille de Leyde ; cette espèce de condensateur convient pour les sources d'électricité de la plus grande tension.

Des Batteries électriques.

Une batterie électrique est formée par des jarres ou des bouteilles de Leyde, disposées de manière qu'elles équivalent à une seule jarre ou à une seule bouteille. Toutes les armures intérieures communiquent entr'elles; il en est de même des armures extérieures. C'est dans cet état que la batterie est capable de recevoir la plus grande quantité d'électricité. Mais on peut encore donner aux bouteilles ou jarres qui la composent, une autre disposition qu'il est important de connoître. On pose sur une table isolée une suite de jarres ; on met l'armure intérieure de la première en communication avec une source d'électricité, et l'armure extérieure de la dernière communique avec le réservoir commun ; de plus, on fait communiquer l'armure extérieure de la première avec l'armure intérieure de la seconde ; l'armure extérieure de la seconde avec l'armure intérieure de la troisième, et ainsi de suite. La source charge la batterie ainsi disposée ; et un effet qu'on peut prévoir, c'est que la quantité d'électricité reçue par la batterie entière, est beaucoup moindre que

celle dont une jarre seule de cette même batterie auroit pu être chargée.

Cet effet devient plus sensible à mesure qu'on augmente le nombre de jarres disposées comme on vient de le dire. Ayant chargé une seule jarre avec une machine électrique, les premiers tours de plateau ont à peine fait diverger l'électromètre; chargeant ensuite le système de six jarres égales à la première, les trois premiers tours ont donné à l'électromètre le *maximum* de divergence.

Condensateur de Volta.

Un plateau de marbre blanc placé entre deux disques métalliques, compose le *condensateur de Volta.* Le marbre blanc, dans cet instrument, tient lieu du verre qui sépare les feuilles métalliques du bocal ou de la bouteille de Leyde. Le marbre étant moins mauvais conducteur que le verre, ce condensateur convient aux sources d'électricité d'une tension moyenne.

Du Condensateur de Cavallo.

Cet instrument est composé de deux disques métalliques, séparés par une couche d'air qui tient lieu du verre dans la bouteille de Leyde, et du marbre dans le condensateur de Volta.

En ne laissant à la couche d'air que très-peu d'épaisseur, ce condensateur de Cavallo conviendra aux sources d'électricité d'une petite tension.

Du Condensateur.

Pour accumuler le fluide électrique qui est d'une tension très-foible à sa source, et qui ne seroit sensible à aucun des électromètres décrits précédemment, on prend pour substance isolante un plateau de bois couvert de taffetas de Florence enduit d'une légère couche de gomme lacque; et, pour qu'il y ait plus de contact entre cette couche et le disque métallique qui s'y applique, on place entre le bois et le taffetas quelques rondelles de papier. On a conservé, à l'instrument ainsi disposé, le nom de *condensateur.* Lorsqu'on en fait usage, le plateau de bois communique au réservoir commun, et le disque métallique à la source.

En admettant que le fluide électrique s'écoule d'une source constante, on peut, quelque faible que soit la tension à cette source, le recueillir sur le disque du condensateur et en augmenter considérablement la tension; mais lorsqu'un corps n'est chargé que d'une quantité limitée de fluide électrique, et que la tension de ce fluide est très-faible, le condensateur n'offre pas le moyen d'en reconnoître la présence et d'en distinguer l'espèce. Il faut, dans ce cas, avoir recours à un autre instrument qu'on nomme *doubleur,* dont la construction est encore fondée sur les influences.

Un corps qui est dans l'état naturel, en présence d'un autre corps, même faiblement électrisé, y prend deux espèces d'électricité. L'objet

du doubleur est de réunir les électricités semblables de ces deux corps sur un seul, et par cette réunion d'en augmenter la tension.

Du Doubleur.

Cet instrument est composé de trois disques métalliques de même grandeur et de forme circulaire; les deux premiers sont fixes et dans un même plan, le troisième a un mouvement de rotation dans un plan qui est parallèle à celui des disques fixes, et qui n'en est séparé que par une mince couche d'air.

Nommons F et F′ les disques fixes, M le disque mobile; les disques prennent, l'un par rapport à l'autre, les deux positions suivantes. Dans la première, F et F′ communiquent entr'eux et sont isolés du réservoir commun; M a une de ses faces en regard de F, tandis que l'autre communique avec le réservoir commun. Dans la deuxième position, F et M sont isolés, F ne communique plus avec F′, une des faces de F′ est en regard de M, tandis que l'autre face communique avec le réservoir commun.

Les disques F et F′ sont supposés d'abord faiblement électrisés: dans la première position, le disque M est soumis à l'influence des deux disques F et F′; il s'électrise d'une électricité qui diffère de celle de ces disques et qui la surpasse en tension; dans la deuxième position le disque F est isolé, F′ est soumis à l'influence de l'électricité de M; il acquiert une électricité d'une autre

nature que celle de M, et d'une tension à-peu-près égale; or, la tension de l'électricité dans M étoit, pour la première position, plus grande que celle de F′; donc, dans la deuxième position, la tension de l'électricité de F′ a augmenté; revenant à la première position, F′ communique avec F, et partage avec ce disque ce qu'il a gagné en fluide électrique; d'où il suit qu'en continuant le mouvement de rotation du disque M, la tension du fluide électrique des disques F et F′ va toujours croissant, jusqu'à ce que l'air interposé qui sépare les disques fixes et le disque mobile ne soit plus un obstacle à la réunion de leurs fluides; l'instant de cette réunion est indiqué par le bruit de l'étincelle électrique.

M. Desormes et moi avons observé (1) que le doubleur, même isolé du réservoir commun, étoit une source d'électricité qui augmentoit avec les dimensions de cet instrument; or, cette électricité naturelle peut différer de la foible électricité qu'on suppose dans les disques F et F′, et dans ce cas, celle-ci est entièrement absorbée et dominée par la première; d'où il suit que pour accroître la tension de l'électricité des disques F et F′ sans la changer de nature, il faut donner à ces disques, ainsi qu'au mobile M, de petites dimensions. Cette observation confirme l'opinion de

(1) Nous avons fait construire, en octobre 1803, un nouveau doubleur, dont on trouve la description dans les *Annales de Chimie*, tom. XLIX.

plusieurs physiciens qui pensent que l'air en mouvement peut électriser une chaîne métallique, telle que la corde d'un cerf-volant électrique.

Machine électrique.

L'objet des machines électriques est de produire, par un frottement continu, le fluide électrique, et de l'accumuler sur un corps isolé qui lui sert de réservoir; les parties principales de la machine électrique sont les *frottoirs*, le corps frotté et le *conducteur* (1); le corps frotté est ordinairement un plateau de verre de forme circulaire; les frottoirs sont de petits coussins remplis de crin et couverts d'une peau enduite d'un amalgame métallique (2); le crin agit comme ressort et presse les frottoirs contre le verre; le *conducteur* est un assemblage de cylindres creux en cuivre, terminés par des bras qui s'étendent vers les bords du plateau de verre; les coussins sont fixés à deux montants en bois parallèles; le plateau de verre est traversé dans son centre par un axe qui porte sur les même montants, et tout l'appareil est établi sur une table en bois qui est isolée du réservoir commun par des pieds de verre enduits de résine.

La machine étant ainsi disposée, pour la mettre en jeu on établit la communication des coussins avec le réservoir commun, on fait tourner le pla-

(1) Il seroit mieux nommé, *réservoir particulier*, en conservant le mot de *réservoir commun* pour indiquer la masse terrestre.

(2) Mercure et étain, ou mercure et zinc, ou étain et soufre.

teau au moyen d'une manivelle fixée à son axe, et le conducteur se charge d'électricité positive; pour obtenir de l'électricité négative, on fait communiquer le conducteur avec le réservoir commun; la manivelle fixée à l'axe étant en verre enduit de résine, l'agent qu'on y applique pour faire tourner le plateau, ne communique pas avec la machine et les coussins deviennent une source d'électricité négative, qu'on peut recueillir sur un conducteur isolé du réservoir commun et qui communique avec ces coussins; il est à remarquer que la tension de l'électricité négative qui s'écoule des frottoirs, est à-peu-près égale à celle de l'électricité positive dont on charge le conducteur.

Les deux corps qui, dans cette machine, s'électrisent par frottement, sont le verre et un amalgame métallique; quelle que soit la nature des corps frottés, l'électricité de l'un étant positive, celle de l'autre est négative; quelques différences dans l'arrangement intérieur des molécules des corps, dans leur dureté, leur couleur, changent la nature de l'électricité produite par le frottement; si on frotte verre contre verre, soie contre soie, métal contre métal, on obtient sur l'un des corps l'électricité positive, et sur l'autre, quoique de même nature, l'électricité négative.

La tension du fluide électrique, produite par le frottement, dépend de la nature des substances frottées; on a recherché celles pour lesquelles cette tension est la plus élevée, et on les a employées dans les machines électriques; la propriété qu'a le

verre, de donner de l'électricité d'une grande tension, n'est pas la seule qui en ait déterminé l'emploi ; il faut de plus que cette substance soit de la nature des mauvais conducteurs ; tant que le plateau est en présence des frottoirs, il se manifeste très-peu de fluide électrique, parce que les électricités positive et négative se neutralisent presque totalement ; il faut donc les séparer et renouveler souvent les contacts pour obtenir la plus grande quantité possible de fluide électrique ; dans cette opération, le plateau doit conserver le fluide électrique dont il est chargé, depuis l'instant où il quitte le frottoir jusqu'à ce qu'il ait transmis ce fluide au conducteur ; ce qui n'auroit pas lieu si la substance du plateau n'étoit pas du genre des mauvais conducteurs. Ainsi un plateau métallique frotté contre la laine donneroit une électricité d'une tension plus grande que celle qui résulte du verre frotté contre l'amalgame ; il ne conviendroit pas aux machines électriques, parce qu'à peine quitteroit-il le frottoir, que l'air, qui est rarement sec, lui enleveroit la plus grande partie du fluide électrique dont il seroit chargé ; le verre même, quand il est échauffé par le frottement, ou qu'il est dans un air un peu humide, conserve difficilement son électricité.

C'est par cette raison qu'on obtient des machines électriques un effet presque double, en faisant tourner le plateau entre deux taffetas enduits d'un vernis résineux, qu'on a fixés dans l'espace qui s'étend d'abord des frottoirs supérieurs

au premier bras du conducteur, et ensuite des frottoirs inférieurs au second bras de ce même conducteur.

On remarque dans la machine électrique plusieurs effets de l'influence ; après un certain nombre de tours de plateau sur les frottoirs, la tension de l'électricité sur chaque point de la surface du conducteur est à-peu-près constante ; mais il s'en faut bien qu'elle soit la même dans toute l'étendue de cette surface ; le fluide électrique du plateau repousse le fluide électrique des bras du conducteur, dont il n'est séparé que par une mince couche d'air, et le force à se porter vers l'extrémité du conducteur la plus éloignée des frottoirs, en sorte qu'à cette extrémité la tension du fluide est beaucoup plus grande qu'en tout autre point de la surface du conducteur ; cette augmentation de tension devient plus sensible à mesure qu'on augmente la longueur du conducteur.

Le plateau de verre mobile s'électrisant sur les deux faces par lesquelles il touche les frottoirs, la répulsion des fluides de même espèce favorise la transmission de l'électricité du plateau sur le conducteur.

La manière de mettre en jeu une machine électrique, quelles que soient les substances *frottée* et *frottante*, est fondée sur ce principe, *que la première des deux substances ne peut devenir source effective de l'un des fluides électriques, que la seconde ne soit en même temps source effective de l'autre fluide ;* d'où il suit qu'il y a

deux moyens de charger d'électricité un condensateur tel qu'une batterie ou jarre électrique ; le premier moyen, celui qui est en usage, consiste à mettre l'une des armures en communication avec la substance frottée ou frottante, tandis que l'autre armure et la substance frottée ou frottante communiquent avec le réservoir commun. La tension de l'électricité sur l'armure qui a communiqué avec le réservoir commun, est moindre que sur l'autre armure.

Le second moyen consiste à isoler le condensateur, comme on a isolé la machine électrique, et à faire communiquer les armures du condensateur, l'une avec la substance frottante, et l'autre avec la substance frottée ; la tension des électricités qu'on accumule ainsi sur les deux armures, est à-peu-près de même intensité.

Lorsqu'on charge le condensateur par le premier moyen, des deux fluides électriques P et N qu'on produit, P passe dans l'une des armures du condensateur, et N au réservoir commun ; en même temps l'autre armure s'électrise par l'influence du fluide P ; en employant le second moyen, tout est isolé du réservoir commun, et chacun des fluides se condense sur l'armure avec laquelle il est en communication.

De l'Électricité produite par le simple contact.

Du Couple électrique.

On a vu (*pag.* 155) que le contact donne à certaines substances des propriétés électriques, et que parmi ces substances on avoit distingué les deux métaux *zinc* et *argent* ou *zinc* et *cuivre ;* l'électricité acquise par chacun de ces métaux est encore d'une trop foible tension pour attirer ou repousser les corps même les plus légers, elle ne devient sensible qu'après avoir été recueillie sur le disque du condensateur décrit (*pag.* 163); la condensation de cette électricité peut se faire de trois manières, et toutes trois sont fondées sur ce principe : *que deux substances qui s'électrisent par contact, acquièrent les deux espèces d'électricités, et que la première substance ne peut devenir source effective de l'un des fluides électriques, que la seconde n'abandonne l'autre fluide.*

Première manière. Le plateau de bois communique avec le réservoir commun; le disque métallique séparé du plateau par une légère couche de vernis, touche l'une des extrémités d'un morceau de zinc dont l'autre extrémité communique au réservoir commun ; en quelques instans le disque se charge d'une électricité assez intense pour faire écarter les fils de l'électromètre.

Seconde manière. Le plateau de bois communique encore avec le réservoir commun, et le disque métallique est posé sur la couche de vernis; on applique l'un contre l'autre deux plans, l'un de zinc et l'autre de cuivre, et on les tient dans cette position au moyen de supports isolans; les ayant séparés, on touche avec le plan de cuivre le disque du condensateur, qui est aussi de cuivre; après avoir fait communiquer le plan de zinc avec le réservoir commun, on l'applique de nouveau contre le plan de cuivre, on touche encore le disque du condensateur avec le dernier plan, et par une suite d'opérations semblables, ce disque s'électrise.

A ces deux moyens d'accumuler l'électricité qui résulte du contact des deux substances, il faut en ajouter un troisième; le condensateur étant isolé, une pièce de zinc communique avec le dessous du plateau inférieur de cet instrument, tandis qu'une pièce de cuivre, en contact avec la pièce de zinc, communique avec le disque métallique; l'électricité s'accumule dans ce dernier disque, quoique la communication avec le réservoir commun n'ait pas lieu; cette communication n'est pas nécessaire, pour que le fluide positif du zinc passe dans le plateau inférieur.

On a supposé, dans ce qui vient d'être dit, que le disque métallique du condensateur étoit de cuivre, et on l'a chargé de l'électricité négative de la pièce de cuivre; s'il étoit de zinc, on le chargeroit, de la même manière, de l'élec-

tricité positive de la pièce de *zinc :* néanmoins il n'est pas indispensable, pour charger le disque du condensateur positivement, qu'il soit en zinc ; lorsque ce disque est de cuivre, la pièce de zinc se trouvant placée entre deux métaux de même espèce, tout l'effet électrique résultant du contact est détruit ; mais Volta a fait *l'observation extrêmement importante,* qu'en séparant le disque et la pièce de zinc par un drap mouillé d'eau ou de différens autres liquides, l'action électro-motrice du couple continuoit, et que le conducteur humide permettoit au fluide positif du zinc de passer dans le disque du condensateur.

La première manière de charger le condensateur fait voir que le contact du cuivre et du zinc détruit dans ces métaux l'équilibre d'électricité ; que le fluide électrique de l'un s'accumule sur le disque, tandis que le fluide de l'autre passe au réservoir commun. Mais on pourroit croire que l'état électrique des deux métaux est déterminé par l'écoulement du fluide électrique ; la seconde manière de charger le condensateur prouve que cet écoulement n'est pas nécessaire, car les deux plans (cuivre et zinc) ayant été mis en contact et ensuite séparés, l'un est électrisé positivement, et l'autre négativement ; c'est pour les remettre tous deux dans l'état naturel, qu'après avoir porté l'électricité du plan *cuivre* sur le disque du condensateur, il est nécessaire de faire communiquer le plan *zinc* avec le réservoir commun.

Dans la troisième manière de charger le con-

densateur, le couple *cuivre* et *zinc* est isolé du réservoir commun, d'où l'on conclut qu'il est par lui-même une source constante de fluide électrique.

Lorsqu'on forme le couple électrique de deux disques métalliques qui sont de même forme et dans l'état naturel, la tension de l'électricité positive sur l'un est égale à la tension de l'électricité négative sur l'autre; on détruit cette égalité en faisant communiquer un seul de ces disques avec le réservoir commun ou avec un conducteur d'une certaine masse; ce disque perd une portion du fluide électrique, mais qui est très-limitée, à moins que par un moyen quelconque on n'enlève le fluide électrique du second disque; c'est ainsi qu'une bouteille de Leyde chargée, étant isolée, on peut la décharger en faisant communiquer successivement l'intérieur et l'extérieur de la bouteille avec le réservoir commun.

Quelle que soit la grandeur du condensateur dont on se sert pour recueillir l'électricité du couple électrique, il est chargé instantanément, ce qui prouve que dans un temps très-court, et qu'on ne peut pas apprécier, le couple peut fournir par lui-même, et un nombre de fois indéfini, une grande quantité de fluide électrique; cette propriété du couple le distingue de la bouteille de Leyde. Ce condensateur ne contient qu'une quantité très-limitée de fluide électrique, cependant ses effets sont très-sensibles à cause de la grande tension des fluides qui y sont accumulés.

Tous les couples (cuivre et zinc), quelles que soient leurs dimensions, appliqués au même condensateur, le chargent également, c'est-à-dire, que la tension de l'électricité fournie par chacun d'eux au disque métallique est la même pour tous; de-là on ne peut pas conclure que tous les couples soient des sources égales de fluide électrique; d'autres expériences prouvent que de deux couples, l'une à grandes, l'autre à petites dimensions, le premier est une source plus abondante que le second.

Volta est le premier (1) qui ait considéré le *couple électrique* comme une source d'électricité positive et négative; c'est à ce même physicien qu'on doit cette combinaison des couples, qui a donné naissance à la nouvelle machine électrique connue sous le nom de *pile électrique*, ou *appareil électro-moteur.*

Pile Voltaïque.

De la Pile électrique, ou *Appareil électro-moteur.*

L'appareil électro-moteur est composé de *couples électriques* superposés; deux couples consécutifs sont séparés par une substance qui doit satisfaire à deux conditions: la première, de conduire le fluide électrique d'une foible tension; la

(1) Voy. sa lettre à Gren, *Annales de Chimie*, tom. XXIII, an 1797.

seconde, de ne pas détruire la propriété électromotrice dans les deux couples qu'elle sépare. Volta a indiqué plusieurs liquides tels que l'eau pure, l'eau acidulée, l'eau salée, etc., qui satisfont à ces deux conditions; j'ai formé des piles, en substituant aux liquides des substances sèches, telles qu'une couche de colle d'amidon pur, d'amidon salé, etc.

L'action chimique de la substance placée entre les couples, produit ordinairement des effets électriques qui augmentent ou diminuent ceux de la pile; mais dans ce qui suit on ne considère que la somme ou la différence de ces effets.

De la Pile électrique mise en action.

Tout ce qu'on a dit de la manière de charger le condensateur avec un couple électrique, s'applique également à la réunion des couples qui forment la pile; les extrémités de cette pile sont deux sources simultanées, l'une d'électricité positive, et l'autre d'électricité négative; le fluide électrique ne peut s'écouler par l'extrémité positive, qu'il n'y ait en même temps écoulement par l'extrémité négative; lorsque ces deux courans sont établis, chaque couple est électrisé positivement et négativement, comme dans la pile isolée.

Toutes les piles du même nombre de couples (*cuivre* et *zinc*), quelles que soient leurs dimensions, étant appliquées au même condensateur, le chargent également; la tension de l'électricité obtenue sur le disque métallique est constante,

mais l'égalité de tension ne prouve pas l'égalité dans les quantités de fluide électrique; d'autres expériences prouvent que les piles dont les couples ont de grandes dimensions, sont des sources plus abondantes de fluide électrique que les piles à petites dimensions.

Quelle que soit la grandeur du condensateur, la pile le charge instantanément; ce qui prouve que dans un temps très-court, et qu'on ne peut pas apprécier, elle donne une très-grande quantité de fluide électrique.

La pile placée sur le conducteur d'une machine électrique, et électrisée positivement ou négativement, conserve la propriété électro-motrice; après avoir fait communiquer ses extrémités avec le dessus et le dessous du condensateur, le disque métallique est chargé du fluide de l'extrémité positive ou négative; mais avant de séparer ce disque de la couche de vernis, il faut lui enlever l'électricité provenant de la machine électrique; le condensateur est, dans cette circonstance, comme la bouteille de Leyde chargée qui, étant placée sur le conducteur d'une machine électrique, s'électrise positivement ou négativement; on ne peut rendre sensible les électricités des armures qu'en leur enlevant le fluide qu'elles ont reçu de la machine.

La pile étant posée sur un isoloir, si l'on met une des extrémités en communication avec le réservoir commun, ou avec un conducteur d'une certaine masse, il y a écoulement de fluide élec-

trique, mais qui cesse bientôt, à moins que, par un moyen quelconque, on n'enlève le fluide électrique de l'autre extrémité; la pile, dans ce cas, se comporte comme le couple électrique (*Voyez pag.* 171). Le condensateur communiquant par le plateau inférieur au réservoir commun, et par le disque métallique à l'extrémité supérieure d'une pile isolée d'un grand nombre de couples, ce dernier disque s'électrise *sensiblement;* la partie de la pile qui est au-dessous du dernier couple supplée momentanément le réservoir commun, et favorise l'écoulement de l'électricité contraire à celle qu'on recueille sur le disque du condensateur.

La pile étant toujours supposée isolée, si on la touche en un point quelconque, autre que celui du milieu de sa longueur, ce point peut être considéré comme l'extrémité de deux piles d'inégale longueur, et à courants contraires. Le disque d'un condensateur placé en ce point, reçoit à-la-fois deux électricités contraires qui se neutralisent en partie, en sorte qu'il ne peut indiquer que l'espèce d'électricité qui provient d'un courant correspondant à la pile du plus grand nombre de couples; d'où il suit qu'en plaçant le condensateur au centre d'une pile isolée, l'électricité du disque métallique doit être nulle.

Du Fluide électrique considéré comme Agent mécanique et chimique.

Le fluide électrique est constamment soumis à

plusieurs forces qui se font rarement équilibre : la pression atmosphérique et l'adhérence aux molécules des corps tendent à le fixer ; mais quelque peu conducteur que soit le milieu dans lequel ces corps soient placés, il se fait un partage de fluide électrique qui détruit à chaque instant l'état d'équilibre ; ainsi l'air qui environne un corps électrisé s'électrise lui-même, il s'éloigne du corps pour faire place à de nouvel air ; ce mouvement devient très-sensible à l'extrémité d'une pointe placée horizontalement à l'extrémité du conducteur d'une machine électrique ; un moulinet dont les aîles sont frappées par l'air qui s'éloigne de cette pointe, tourne avec une grande vitesse.

Un corps mobile isolé étant placé entre deux autres corps fixes, l'un électrisé, et l'autre à l'état naturel, va successivement du premier au second ; le planétaire et le carillon électrique offrent des exemples de cette espèce de mouvement.

De tous les effets mécaniques et chimiques produits par le fluide électrique, le plus remarquable est celui qui résulte du passage instantanée d'une grande quantité de fluide à travers un corps conducteur ; la force répulsive des molécules électrisées l'emporte sur la force d'agrégation de ces molécules, et le corps éprouve une division complette ; c'est ce qui arrive souvent aux corps placés entre l'électricité de l'atmosphère et la terre ; ils sont décomposés par le fluide qu'ils transmettent de l'un à l'autre.

Le principal usage des batteries électriques est de répéter en petit et sans danger les effets souvent terribles de l'électricité atmosphérique; on dispose un fil de fer très-fin, de manière qu'au moment de la décharge de la batterie il soit traversé par le fluide qui va d'une armure à l'autre; l'agrégation des molécules métalliques ne résiste pas à la force répulsive de ces mêmes molécules électrisées, et le fil se divise en très-petits globules; amené à cet état de division, il s'enflamme dans l'air atmosphérique, comme l'acier qu'on a détaché du briquet avec la pierre à fusil.

Cette expérience réussit également avec des fils d'un autre métal que le fer; la longueur des fils qu'on brûle par ce moyen, dépend de la *quantité d'électricité* (*pag.* 141) contenue dans les batteries, et de la résistance des molécules métalliques à l'action répulsive du fluide électrique; cette combustion n'a lieu qu'en plaçant ces fils métalliques dans l'air atmosphérique, ou dans un autre air mêlé de gaz oxigène; s'ils sont dans un milieu formé de gaz qui ne soient pas propres à la combustion, ils rougissent et se fondent en globules. La cause de cette élévation de température n'est pas encore bien déterminée; les uns l'attribuent au fluide électrique même, qu'ils considèrent comme un être capable d'échauffer et d'éclairer; d'autres pensent qu'elle est due à la compression subite des molécules métalliques, qui force le calorique interposé à se dégager avec lumière.

Ce qui se passe dans les gaz qui ne sont pas

propres à la combustion, a également lieu dans un liquide; j'ai observé qu'un fil de plomb placé dans l'intérieur d'un petit tube de verre rempli d'alcohol, rougit et se fond en globules.

L'étincelle qui part entre le conducteur d'une des plus petites machines électriques, et l'alcohol ou l'éther, suffit pour enflammer ces liquides; la résine en poudre traversée par le fluide électrique qui passe d'une armure de bouteille de Leyde à l'autre, s'enflamme encore; l'élévation de température nécessaire pour enflammer ces corps, est due ou au fluide électrique même, ou au calorique qui résulte de la compression de l'air qui les environne; il paroît naturel de regarder cette compression comme la cause du bruit qui accompagne l'étincelle électrique; le fluide électrique qui passe à travers un tube de verre dans lequel on a fait le vide, est lumineux; il n'excite dans son passage aucun bruit; et un thermomètre très-sensible, placé dans l'intérieur du tube, n'indique pas, même après un temps assez long, le plus petit changement de température.

De toutes les expériences qui ont été faites sur le fluide électrique, considéré comme agent chimique et mécanique, la plus importante par ses résultats est celle du *pistolet de Volta;* c'est elle qui fit faire le premier pas vers la nouvelle théorie chimique; voici en quoi elle consiste : on met dans un vase fermé par un bouchon de liége un mélange d'oxigène ou d'air atmosphérique et d'hydrogène; ce vase est traversé par deux fils

métalliques isolés et terminés en boules; en faisant communiquer ces fils avec les deux armures d'une bouteille de Leyde, on excite une étincelle entre les boules qui les terminent; dans le même instant la bouteille se décharge, le bouchon de liége s'échappe du vase, et on entend un bruit semblable à celui d'un coup de pistolet.

M. Monge, dans ses cours de physique à l'école du génie à Mézières, répétoit cette expérience dans un vase de verre épais, disposé comme on vient de le dire; mais l'orifice du vase, au lieu d'être fermé par un bouchon, plongeoit dans l'eau, et il faisoit observer à son auditoire qu'après la décharge de la bouteille de Leyde le vase se remplissoit d'eau; d'où il concluoit que les deux gaz hydrogène et oxigène s'étoient combinés, qu'ils formoient par leur combinaison un liquide dont la nature n'étoit pas encore connue; plusieurs circonstances retardèrent de quelques années l'exécution du projet qu'il avoit formé, de déterminer la nature de ce fluide. Ce n'est qu'en 1783 (1) qu'il fit la fameuse expérience de la composition de l'eau, à-peu-près dans le même temps que Cavendish en Angleterre, et Lavoisier à Paris; c'est à

(1) Le Mémoire de M. Monge, sur la composition de l'eau, a été lu en juin 1783, et imprimé quelques années après dans le volume de l'Académie de Paris, année 1783.

Les expériences de Lavoisier ont été lues en novembre 1783 et en avril 1784; quoiqu'imprimées dans le volume de 1781, qui étoit alors sous presse, elles sont postérieures à celles de M. Monge.

cette époque que l'eau cessa d'être considérée comme un corps simple, et qu'on détermina les proportions des gaz hydrogène et oxigène qui entrent dans sa composition.

L'étincelle électrique, excitée dans le gaz hydrogène et oxigène, détermine la composition de l'eau ; la même étincelle excitée dans l'eau la décompose en ses deux gaz élémentaires ; ce double effet est une des principales causes de l'imperfection des appareils inventés jusqu'à présent pour la décomposition de l'eau ; je répète facilement cette expérience au moyen d'un petit appareil qui consiste en deux petits tubes de verre, traversés par des fils métalliques terminés en boules ; ces tubes sont ouverts par une de leurs extrémités et fermés par l'autre ; après les avoir remplis d'eau, on les tient dans une position verticale, en les réunissant par les extrémités ouvertes ; le tube supérieur peut être considéré comme une petite cloche plongée dans le tube inférieur qui lui sert de cuve ; l'étincelle part entre les deux boules placées vers la jonction des tubes ; les gaz qui se forment s'élèvent aussitôt dans la partie supérieure du tube renversé, et on peut assez promptement en obtenir une quantité sensible ; l'étincelle qui détermine la séparation des gaz, s'excite ou par une forte machine électrique, ou par des décharges successives d'une bouteille de Leyde.

Mais de tous les moyens de décomposer l'eau, le plus étonnant par sa simplicité est celui que présente la pile électrique : on arme ses extrémités

de deux fils métalliques dont les extrémités plongent dans un vase d'eau, et à l'instant même on voit des bulles de gaz se dégager de chacun des fils; savoir, le gaz oxigène du fil correspondant au pôle positif, et le gaz hydrogène du fil correspondant au pôle négatif; lorsque le premier de ces fils est oxidable, l'oxigène s'y combine, et cesse de se dégager sous forme de gaz; il agit même dans cet état naissant sur l'or et sur le platine, mais beaucoup moins que sur les autres métaux.

Les grandes machines électriques offrent un moyen semblable de décomposer l'eau; on fait communiquer ce liquide au conducteur d'une de ces machines, par un fil métallique très-fin, renfermé dans un tube de verre; et aussitôt que la machine est en action, on aperçoit à l'extrémité du fil qui plonge dans l'eau, un dégagement de bulles d'air.

L'eau n'est pas la seule substance qu'on puisse composer ou décomposer à l'aide des piles électriques; ces appareils ont enrichi la chimie de plusieurs faits importans qui ont perfectionné la science, ou confirmé la théorie des chimistes français.

La décomposition des liquides par des conducteurs qui communiquent aux deux extrémités d'une pile, a lieu également sur les substances humides qui séparent les couples de cette pile; les élémens de ces substances se combinent avec les métaux dont les couples sont formés; les produits de la combinaison ne jouissent pas, comme

les métaux, de la faculté électro-motrice; l'action de la pile décroît, et en peu de temps devient nulle; c'est pour remédier à cette grande imperfection des piles électriques, et pour obtenir des sources constantes d'électricité, qu'on a cherché à substituer des matières sèches aux substances humides qui séparent les couples; les piles à *couches de colle d'amidon* (*Voyez pag.* 176.) remplissent assez bien cet objet, mais elles ne décomposent pas l'eau, elles n'agissent pas sur les organes des animaux vivans, c'est seulement par le condensateur qu'on peut reconnoître le fluide électrique qui s'en dégage (1).

Ritter a formé des piles qu'il a nommées *secondaires*, en superposant des disques d'un seul et même métal, et en les séparant par des pièces humides; ayant mis leurs extrémités en communication avec celle d'une pile ordinaire, il a remarqué qu'elles acquéroient les mêmes propriétés que celle-ci, qu'elles chargeoient le condensateur, qu'elles décomposoient l'eau, etc.; mais que n'ayant pas en elles-mêmes la faculté électro-motrice, tous ces effets étoient de très-peu de durée; Volta en a trouvé l'explication dans la décomposition de la substance humide, et a fait voir que par cette décomposition la pile secondaire se changeoit mo-

(1) Une pile de cette espèce, formée de couples *cuivre* et *zinc*, que j'ai conservée à l'École Polytechnique pendant trois ans, chargeoit encore le condensateur.



mentanément en *pile active.* (*Voyez la Lettre de Brugnatelli, Journal de M. Van Mons.*)

De l'usage des Piles électriques pour l'inflammation des métaux.

Toutes les piles électriques du même nombre de couples, et formées des mêmes substances, chargent également et dans le même temps le condensateur; cette première observation pouvoit faire croire que, quelles que fussent leurs dimensions, elles étoient des sources égales de fluide électrique; les expériences que M. Thenard et moi avons faites à l'Ecole Polytechnique sur la combustion des métaux, ont prouvé que les quantités absolues de fluide électrique fournies par une pile dans un temps déterminé, dépendaient de la grandeur des couples dont cette pile était composée; et si le condensateur n'indique pas cette dépendance, c'est par la même raison qu'on ne peut pas comparer les quantités d'eau qui s'écoulent de sources abondantes, en recevant l'eau dans des vases qui s'emplissent instantanément.

La première pile qui ait été employée à la combustion des métaux, étoit composée de huit couples (cuivre et zinc) dont chacune avait en longueur 0^mètre^, 27 sur 0^mètre^, 2 de largeur; deux couples consécutifs étoient séparés par une pièce de drap mouillé d'une dissolution de muriate d'ammoniaque; ayant fait communiquer la dernière plaque de la pile avec des fils de fer très-fins, tels qu'on les prépare

pour des instrumens de musique, on a mis les extrémités de ces fils en contact, et on a observé l'effet de ce contact dans différens gaz.

Dans l'air atmosphérique, une certaine longueur de fil de fer a rougi, s'est fondue en globules, s'est évaporée, et la portion du fil voisine de celle-là est devenue cassante.

Dans le gaz oxigène, ces effets sont devenus encore plus sensibles et d'une plus longue durée.

Ces expériences ont été faites en mai 1801 (1); comme elles ont fixé l'attention des physiciens, on a imaginé plusieurs appareils pour les répéter; celui de Pepys est le plus généralement adopté; il a été décrit dans un journal anglais de février 1803; l'appareil que j'ai fait construire pour l'Ecole Polytechnique est semblable à celui-là; il est composé de 60 couples de cuivre et zinc des dimensions suivantes :

Longueur............o,m. 8.

Largeur.............o, 8.

Épaisseur {zinc,... o,m. 005 / cuivre, o, 002} o, 07.

Ces couples sont placés de champ, et retenus par un mastic dans des rainures d'une caisse en bois; l'intervalle entre chaque couple est de o,mètre 006; on remplit ces intervalles d'une liqueur acide, par exemple d'un mélange (dans le rapport de 16 à 1) d'eau et d'acide nitrique concentré; pour établir la communication des deux

(1) Voyez le *Journal de l'Ecole Polytechnique*, XIe. cahier, page 291.

couples extrêmes, on place un conducteur (fer ou platine) dans chacun des intervalles remplis de liquide, qui sont adjacens à ces couples.

On remarque qu'après avoir chargé le condensateur avec une pile, son action diminue considérablement, et qu'elle ne reprend son premier état qu'après quelques momens d'interruption; cet effet est beaucoup plus sensible dans la combustion des fils métalliques : chaque contact des extrémités des fils épuise momentanément le fluide électrique qui se dégage de l'appareil, et le temps nécessaire pour lui rendre toute son énergie est d'autant plus court, que la substance qui sépare les couples conduit mieux le fluide électrique.

Le grand appareil qu'on vient de décrire, produit, au moment où l'on a versé la liqueur acide entre les plaques, des effets étonnans de combustions métalliques; lorsque son action électro-motrice diminue, elle est néanmoins encore assez intense pour qu'un fil de fer, en communication avec les couples extrêmes, reste constamment rouge, jusqu'à ce qu'il soit entièrement oxidé (1).

De l'action du Fluide électrique sur les animaux vivans ou nouvellement tués.

On comprend sous le nom de *Galvanisme* tous

---

(1) L'Empereur a fait présent à l'École Polytechnique, en février 1808, de cinq cents plaques quarrées, de trois décimètres de côté; chaque plaque pèse quatre kilogrammes, savoir un kilogramme en cuivre, et trois kilogrammes en zinc. (*Voyez la Correspondance sur l'École Polytechnique.*)

les faits relatifs à l'action du fluide électrique sur les animaux. Galvani, médecin de Bologne, a le premier (en 1786) appelé l'attention des physiciens sur les électromoteurs ; on savoit depuis long-temps qu'en plaçant la langue entre l'étain et l'argent, et mettant ces deux métaux en contact, on éprouvoit une saveur assez forte, tandis que chaque métal pris séparément, en produisoit une très-foible ; ce fait étoit resté seul de son genre ; cependant Galvani observa qu'en dépouillant une grenouille vivante, et mettant à nu un des nerfs pour le placer entre une feuille d'étain et l'acier d'une paire de ciseaux, la grenouille éprouvoit, à chaque attouchement des deux métaux, des mouvemens convulsifs ; cette expérience ayant été répétée et variée d'une infinité de manières, on trouva un grand nombre de faits nouveaux, que l'on chercha à lier par des théories ; la première hypothèse qui se présenta fut celle d'un fluide particulier, que par reconnoissance pour *Galvani*, on nomma *Fluide galvanique ;* d'autres physiciens prétendirent que la théorie de l'electricité étoit suffisante pour rendre compte de tous les phénomènes galvaniques ; de ce nombre fut Volta, qui publia son premier mémoire sur l'électricité animale, en 1797, et qui depuis a donné les appareils électromoteurs.

La pile électrique produit sur les animaux des effets semblables à ceux des batteries électriques ; tenant d'une main l'une de ses extrémités, et faisant communiquer l'autre extrémité à une partie voi-

sine de l'œil, on éprouve une sensation de lumière ; on aperçoit une lueur semblable, mais moins forte, en plaçant sous la langue une pièce de zinc et sous la lèvre une pièce d'argent ; en rapprochant ces métaux jusqu'à ce qu'ils se touchent, on croit voir une lumière vive ; si on place la langue entre ces deux métaux, on éprouve une saveur assez forte.

Plusieurs médecins ont essayé d'appliquer l'appareil électromoteur à la guérison de quelques maladies, et principalement des paralysies, mais les effets de ce remède sont très-variables ; et d'ailleurs, comme ils ne sont pas du ressort de la partie physique de l'électricité, nous nous dispenserons d'en parler.

M. Monge a donné, dans son Mémoire de Météréologie déjà cité (Annales de Chimie, tome V), *une explication du bruit du tonnerre qu'il est important de faire connoître.*

Du Tonnerre.

Le tonnerre est un phénomène complexe, en partie météréologique, en partie électrique, et dont toutes les circonstances n'ont pas encore été suffisamment analysées. Non-seulement les principes de physique qui doivent conduire à l'explication de ce météore n'ont été connus que dans ces derniers temps, mais encore une terreur religieuse en a détourné les regards des observateurs ; et ce phénomène, comme on va le voir, n'est pas encore

assez connu pour être expliqué jusques dans ses plus petits détails.

Il est incontestable que la foudre n'est autre chose qu'une forte étincelle électrique; mais outre que les physiciens sont encore partagés aujourd'hui sur la question de savoir si l'étincelle est constamment tirée de l'atmosphère par la terre, ou si elle est quelquefois tirée de la terre par l'atmosphère, ce qui est déjà un objet assez grand d'incertitude, on a toujours regardé le bruit du tonterre comme celui que devoit naturellement produire une décharge électrique aussi forte, et cette erreur a empêché de faire attention à des circonstances qu'il étoit cependant nécessaire de connoître pour expliquer le phénomène.

D'abord le bruit d'une décharge électrique consistant toujours dans un coup unique, tandis qu'au contraire le bruit du tonnerre est toujours roulant et composé d'une suite de coups multipliés, il n'étoit pas naturel d'attribuer, comme on l'a fait, des résultats constamment aussi différens à des causes parfaitement analogues. Cette difficulté n'a pas dû tarder à se présenter; on a cru la lever en considérant le roulement du tonnerre comme produit par des échos multipliés auxquels les surfaces variées des différens nuages devoient donner lieu, et l'on a regardé cette présomption comme suffisamment justifiée par le roulement qui accompagne de même un coup de canon tiré dans un pays de montagnes; mais il n'y a aucune parité dans les circonstances. Les surfaces des collines,

celles des rochers, des bâtimens, des revêtemens de fortifications, etc., sont capables de résistance, et peuvent, en réfléchissant le bruit du canon, produire des échos et une espèce de roulement; mais les nuages, qui ne sont autre chose que le spectacle d'une portion de l'atmosphère devenue opaque et visible par supersaturation, ne présentent aucune surface réfléchissante; les globules d'eau qui les composent sont trop mobiles et ont trop peu de masse pour être capables de la résistance nécessaire à la réflexion du son; et le bruit unique d'une décharge excitée dans l'atmosphère, quels que soient le nombre et la forme des nuages qui en environnent la scène, ne peut jamais être répété et ne doit être entendu qu'une seule fois.

Cette conclusion, à laquelle on est conduit par le raisonnement, est vérifiée par une observation journalière. Les marins savent tous qu'un coup de canon tiré en pleine mer et loin des côtes n'est jamais entendu qu'une seule fois et sans roulement, quelque nombreux que les nuages puissent être, tandis que le tonnerre s'y fait entendre comme à terre par une suite de coups répétés. Les nuages n'ont donc pas la faculté de réfléchir les sons, et le bruit du tonnerre n'est donc pas, comme on le croit encore, l'effet d'une explosion unique, répétée et multipliée par des échos.

Une autre remarque très-importante, et qui paroît avoir échappé à l'attention des observateurs, c'est que la foudre accompagne toujours la for-

mation subite d'un grand nuage, soit qu'elle en soit la cause, soit qu'elle en soit l'effet. L'été, lorsqu'après un temps sec et chaud, le vent, dans nos climats, a tourné au sud-ouest, on entend un premier coup de tonnerre, et le ciel qui, peu de temps auparavant, étoit pur et serein, est déjà occupé par des nuages. A mesure que l'orage avance et que les coups de tonnerre se succèdent, le ciel se couvre de nuages nouveaux qui n'existoient pas antérieurement et qui n'ont pas été apportés par les vents. Bientôt la transparence de l'air est troublée dans toute l'étendue de l'horison; il succède une pluie dont l'abondance est proportionnelle au nombre et à la violence des coups de tonnerre; enfin, cette pluie et la formation des nuages qui lui donnent lieu, ne cessent que quand le tonnerre a cessé de se faire entendre.

Un de mes amis, dans les lumières de qui je dois avoir confiance, m'a assuré que, se trouvant un jour à sa campagne, dans son jardin, il entendit un premier coup de tonnerre qui tomba sur sa maison; que jetant alors les yeux sur l'atmosphère, il y aperçut un grand nuage, et qu'il étoit certain qu'un instant avant le coup, le ciel étoit pur. Des observations aussi convaincantes que celle-ci ne peuvent être qu'infiniment rares; mais en considérant avec attention ce qui se passe dans tous les orages, il est impossible de douter de la vérité de notre remarque (1).

(1) On peut consulter à ce sujet Muschenbroeck (*Inst.*

Si la foudre accompagne toujours, ou comme cause, ou comme effet, la formation subite d'un grand nuage, le bruit du tonnerre n'est plus celui de la foudre, il est celui de la formation du nuage. En effet, lorsque sur une étendue d'une demi-lieue carrée et sur quelques centaines de toises de hauteur, l'air atmosphérique, par quelque cause que ce soit, devient tout-à-coup supersaturé, qu'il se forme subitement un grand nuage, la grande quantité d'eau abandonnée, et qui, en passant de l'état aériforme à l'état liquide, est réduite à un volume à-peu-près neuf cent fois moindre, occasionne dans l'atmosphère une espèce de vide subit; les couches supérieures par leur poids, et les couches latérales par leur ressort, se transportent pour remplir ce vide, et en se choquant avec violence elles occasionnent un bruit. C'est ce qui arrive tous les jours en petit, lorsqu'on ouvre rapidement un étui dont le couvercle ferme assez exactement; en faisant glisser le couvercle sur la gorge, on dilate l'air intérieur,

---

phys.) et le Discours de Bergman, sur les circonstances qui accompagnent le tonnerre.

« J'ai vu moi-même, dit Bergman, le tonnerre tomber d'un » très-petit nuage sur un clocher, le ciel étant d'ailleurs parfaitement clair. Ceux qui n'avoient pas vu cette circonstance, s'étonnoient d'un cas aussi extraordinaire, et ne » savoient pas qu'il y eût aucun nuage. Il pourroit en être » de même des cas que nous avons cités, car l'air peut être » par lui-même électrique; mais il le seroit difficilement assez » pour produire le tonnerre. »

et dès que l'étui est ouvert, l'air extérieur, en se portant avec une certaine vitesse pour remplir le vide, se choque et produit le bruit qui accompagne toujours cette opération. Le bruit du coup de fouet est encore un effet analogue à celui que nous décrivons; car la mèche du fouet applatie en forme de cuiller et retirée subitement, entraîne avec elle une petite masse d'air, et forme un vide subit; ce vide donne lieu à une précipitation d'eau et à la formation d'un petit nuage, d'un pouce de volume, que l'on aperçoit facilement quand le fond du tableau est sombre; et l'air environnant, qui se presse pour remplir le vide, produit, en se choquant, un bruit dont l'éclat dépend de la rapidité du mouvement et de l'intensité du vide, s'il est permis de parler ainsi. Enfin, la membrane que l'on brise sur le récipient de la machine pneumatique, et qui fait un bruit considérable, est encore un exemple d'un effet analogue.

Lorsqu'un premier vide est formé dans l'atmosphère sur une étendue assez grande par la précipitation de l'eau, les couches supérieures descendent par leur poids pour le remplir; mais les couches latérales se dilatent et deviennent à leur tour supersaturées; il se produit donc au-dedans d'elles une nouvelle précipitation d'eau et un nouveau vide qui étant rempli de la même manière, donne lieu à un second coup, et ainsi de proche de proche. Mais les premiers vides étant remplis par des couches d'un plus grand diamètre, les vides qui leur succèdent deviennent de moins

en moins intenses, à mesure que les couches où ils s'opèrent sont plus éloignées du centre ; et les explosions, après s'être affoiblies, cessent enfin lorsque les dilatations de l'air ne peuvent plus donner lieu à de nouvelles précipitations d'eau.

Il resteroit actuellement à déterminer si la supersaturation subite d'une grande masse d'air et la formation d'un grand nuage qui en résulte est produite par l'étincelle électrique ; et dans ce cas l'étincelle pourroit indifféremment être tirée ou des nuages par la terre, ou de la terre par les nuages ; ou si, au contraire, cette étincelle est l'effet de la précipitation de l'eau, alors la foudre constamment produite dans les mêmes circonstances, seroit toujours descendante. Il seroit possible que la supersaturation de l'air fût toujours occasionnée par l'ascension rapide d'un courant d'air chaud et saturé (car nous avons vu que la pesanteur spécifique de l'air dans cet état est beaucoup moindre), et que la foudre ne fût que la décharge spontanée d'une électricité naturelle et foible, d'abord excitée par la précipitation chimique, et ensuite exaltée par le rapprochement des molécules, qui a nécessairement lieu dans la formation d'un nuage. Mais, comme nous l'avons déjà dit, les observations nous manquent à cet égard, et d'ailleurs ces considérations s'éloignent de notre objet. Il nous suffit d'avoir distingué dans le phénomène du tonnerre ce qui est purement météréologique de ce qui est électrique. (*Fin de l'article de M. Monge.*)

Extrait de l'Instruction sur les Paratonnerres, pour servir à l'établissement de ces Appareils au-dessus des Magasins à Poudre ;

Instruction adoptée par le Comité des Fortifications (1) *dans sa Séance du* 25 *Août* 1807.

Un paratonnerre est un conducteur électrique armé d'une pointe et plongé dans le réservoir commun.

Si l'on en considère la construction, c'est un arbre métallique dans lequel on peut distinguer la tige, le corps et les racines.

On va rappeler en peu de mots les dimensions que chacune de ces parties doit avoir, et les conditions qu'elle doit remplir.

On examinera ensuite comment on établit tout le paratonnerre.

On terminera par quelques réflexions sur l'espèce de garantie qu'offre ce genre d'appareils.

De la Tige (2).

La tige est une aiguille de métal fort aiguë, conique ou pyramidale, ayant à sa base trois ou quatre centimètres de rayon ou de côté. Sa hauteur varie de cinq à dix mètres, suivant le site et l'élévation de l'édifice et des objets au-dessus

---

(1) Le général Andréossy, Président du Comité ; le lieutenant-colonel du génie Allent, secrétaire.

(2) Voyez, sur les détails de Constructions la feuille de dessin et sa légende.

desquels la pointe doit, comme nous le verrons, s'élever.

La pointe est en or ou en platine, sur une longueur d'environ trois centimètres. Tout autre métal s'oxideroit, et la pointe perdroit sa propriété attractive.

Cette pointe est soudée avec une baguette de cuivre d'un à deux mètres.

Cette baguette s'assemble avec le reste de la tige qui est en fer, soit par une simple soudure, soit à vis, écrou et goupille. L'assemblage à vis permet de démonter et de réparer la pointe quand la foudre ou d'autres causes l'ont dégradée ou détruite.

Il importe d'ailleurs que toutes les parties de la tige soient unies avec beaucoup de soin, afin qu'il y ait continuité parfaite dans cette première partie du canal électrique, et que le fouet ou les vibrations de l'aiguille, dans les temps orageux, ne puissent dévisser ou dessouder peu-à-peu les assemblages.

Le pied de la tige est terminé par plusieurs pattes ou griffes en fer, que l'on peut sceller sur l'extra-dos de la voûte, ou boulonner dans la charpente, si la voûte est couverte par un toit ordinaire.

On a proposé divers appareils, dont l'objet est de laisser du jeu à la tige, et de diminuer ainsi l'effet des vibrations, qui, dans les orages, tendent à la briser ou à la renverser. Mais ces mécanismes, dans beaucoup de places, pourroient

n'être pas exécutés avec la précision convenable, et il vaut mieux assurer la solidité de la tige par des dimensions plus fortes et par des points d'appuis plus multipliés.

Du bas de la tige part une amorce du corps ou de la conduite. Cette amorce doit offrir au fluide électrique un canal d'écoulement, immédiat et continu dans tous ses points, mais sur-tout au point où elle s'assemble avec la tige, puisque c'est là que la foudre passe, en changeant de route, de la tige dans la conduite.

Pour favoriser ce passage, et rendre plus solide l'insertion de l'amorce et des pattes, on forme souvent au pied de la tige une espèce de renfort ou de collet, auquel on donne, à volonté, la forme d'une sphère, d'un cylindre ou d'un cube : cette précaution n'est pas indispensable ; mais, comme elle est peu coûteuse, il est bon de ne la pas négliger.

Afin de préserver la tige de la rouille, on la dore quelquefois. On a proposé de l'étamer : le plus souvent on se borne à la peindre ; et ce dernier moyen, qui, d'après l'expérience, suffit, n'a point d'inconvénient et coûte peu ; c'est le seul qu'on puisse appliquer aux paratonnerres des magasins à poudre.

Au lieu de forger la tige en cône ou en pyramide, on peut se borner à élever, sur le faîte du bâtiment, une barre en fer carré, et l'on termine ce prisme, comme l'aiguille, par la baguette en cuivre et la pointe en or ou platine. Quand ces

tiges, dont la masse est plus pesante et le centre de gravité plus élevé, ont des dimensions foibles ou beaucoup de hauteur, les vibrations peuvent les casser ou les plier vers le point d'appui; mais, dans les appareils ordinaires, on peut adopter sans danger ce procédé économique.

Du Corps ou de la Conduite.

Le corps ou la conduite du paratonnerre est formé par des barres de fer de treize à vingt millimètres en carré (six à neuf lignes en carré). On peut, dans ceux des magasins à poudre, pousser la précaution jusqu'à employer du fer carré de vingt-sept millimètres (un pouce).

Ces barres sont assemblées par entailles à mi-fer. Pour rendre la continuité plus parfaite et l'assemblage plus solide, on interpose entre les surfaces une lame de plomb, et l'on serre les barres avec une vis que l'on assure par un écrou ou par une goupille rivée.

On préfère l'entaille, parce qu'elle affoiblit moins les barres que le tenon et la mortaise, et que le biseau n'oppose qu'un plan incliné au poids des barres supérieures.

On fait suivre à la conduite le toît, la corniche et la muraille : on peut d'ailleurs la plier ou non au profil de la corniche. Chaque barre est fixée par un demi-collet ou double crampon placé vers le milieu des barres, ou du moins à quelques distances des assemblages. On les espace de trois à six mètres, suivant la longueur et la situation des barres.

Afin de prévenir les désunions et de rattacher les crampons aux barres sans aucune solution de continuité, on peut les entailler réciproquement de quelques millimètres, interposer une lame de plomb, et serrer l'assemblage par une vis ou une goupille.

On peut substituer aux conduites en barres de fer des cordes en fil de cuivre, de fer ou même de chanvre, telles que la grosse sonde.

Ces dernières servent de conduite provisoire lorsqu'on place les tiges des paratonnerres dans un temps orageux, ou lorsqu'on établit des appareils temporaires sur des tentes, des baraques, des dépôts de poudre momentanés.

Les cordes en fils métalliques sont, dans ces mêmes cas, utiles et préférables.

Dans les paratonnerres permanens, leur emploi n'offre point d'avantages essentiels sous les rapports de l'économie et de la propriété conductrice. En effet, on ne peut leur donner moins de cinq à six millimètres de rayon, et leur prix est à celui de la conduite en barres de fer à-peu-près comme six et cinq sont à trois. Leur continuité n'est de molécule à molécule que dans un même fil; elle est entre les fils de surface à surface, et dépend du nombre de leurs points de contact. La corde de cuivre conduit mieux le fluide; mais de moindres dimensions et la forme cylindrique, en diminuant sa surface absolue et relative, lui enlèvent sa supériorité conductrice. Enfin, si ce métal s'oxide moins vîte, la peinture défend le fer de la rouille,

et de bons assemblages assurent la continuité des barres.

Mais un avantage réel et précieux des cordes métalliques et sur-tout des cordes en cuivre, c'est leur continuité comme tissu, c'est leur flexibilité, qui permet de les plier à toutes les formes des édifices, et réduit presqu'à rien le temps, la sujettion, les précautions minutieuses qu'exigent les assemblages et la pose des conduites en barres de fer.

On continue la conduite jusqu'à la surface du sol. On la coude et on la conduit, dans une direction à-peu-près parallèle au terrein, jusqu'à un puits plein d'eau ou assez profond pour que l'extrémité du conducteur atteigne une couche de terre humide.

Depuis deux mètres environ de hauteur jusques dans le puits, on enferme la conduite en des chéneaux ou augets, de la même manière à-peu-près que les saucissons des mines.

L'objet de cette précaution est de défendre la conduite contre l'humidité du sol et les contacts. Ce n'est pas qu'on ne puisse toucher la conduite sans péril, quand il y a continuité parfaite de la tige au réservoir commun. Mais cette continuité même peut être rompue par des dégradations actuelles ou antérieures ; et dans le contact, ce sont principalement les causes de discontinuité qui sont à craindre.

Lorsque la conduite doit être enterrée, il faut que les augets soient en chêne, bien assemblés, goudronnés ou charbonnés, ou enveloppés de

charbon en poudre, de manière que le métal ne puisse être oxidé par les infiltrations et par l'humidité du sol.

Dans quelques terrains il est souvent plus sûr et moins coûteux de faire en plomb la partie souterraine de la conduite, en la commençant à quelque distance des fondations, et en rachetant, par beaucoup plus de surface, l'infériorité de ce métal comme substance conductrice.

On peut quelquefois profiter des tuyaux de conduite en plomb ou en fer de fonte ; le métal et l'eau font également fonctions de conducteurs. Mais il est évident qu'on ne doit les employer que quand ils servent à écouler des eaux, et que leurs extrémités plongent dans un réservoir isolé. Il importe, au contraire, d'éloigner les conducteurs électriques des tuyaux de conduite qui amènent les eaux aux fontaines publiques ou dans l'intérieur des édifices.

Des Racines et des Puits.

Si la conduite aboutit à un puits plein d'eau, ou à quelque masse d'eau pareille, les racines ou les extrémités du paratonnerre peuvent se réduire à quelques pivots terminés en pointe, et assez prolongés pour être constamment en immersion. On multiplie les pivots et les pointes, pour favoriser le passage de la foudre dans l'eau, substance moins conductrice que le métal.

Lorsque la conduite ne peut aboutir qu'à une couche de terre, on établit un système de racines

dont l'objet est de multiplier d'autant plus les pointes ou les tuyaux d'écoulement, que la couche est moins conductrice.

On termine donc l'extrémité de la conduite par un renfort ou collet, sur lequel on assemble avec solidité des tiges de plomb qui finissent par d'autres collets hérissés de pointes.

Suivant le besoin, on multiplie ces tiges dans le sens des rayons d'un cercle, d'un hémisphère ou d'un secteur sphérique.

Lorsque la conduite ne peut atteindre qu'une couche de roche, de sable, ou de terre peu humide, on adapte à l'extrémité du conducteur des tiges transversales que l'on termine par plusieurs sphères de racines d'un rayon plus ou moins grand.

Quand la couche, au contraire, est humide et favorable à la dispersion du fluide, on se borne à découper, dans le plan d'un cercle, des lames de plomb en feuille, disposées tout autour du collet principal.

Il est évident qu'il faut proportionner la force des branches et des rameaux de ces racines, à leur distance au collet, et à la solidité du terrein.

Il convient, si le sol a peu de consistance, de soutenir tout le système par des piquets, ou même par une espèce de grillage, et de prendre enfin toutes les précautions nécessaires pour que les racines ne puissent se séparer les unes des autres, ni du corps de la conduite.

Le puisard doit être assez large pour qu'on

puisse visiter l'appareil, et, s'il y a lieu, en réparer les dégradations.

Le puits ou le puisard doit être situé à une assez grande distance des fondations du magasin et de tout autre établissement, pour que le fluide ne puisse les dégrader en se dispersant.

Il est bon que le puisard se trouve au point de réunion des eaux de pluie, et il importe de les y dériver par tous les moyens possibles, afin qu'elles entretiennent, et, s'il se peut, augmentent l'humidité naturelle des couches du sol.

Mais on ne doit alors descendre dans le puisard qu'avec les précautions usitées dans la visite des égouts et des mares d'eau souterraines.

Quand les puits ne peuvent être fermés et condamnés, il faut du moins que la conduite soit isolée et profondément immergée, de peur que la communication du fluide dans les chaînes des puits ou les bras des pompes ne cause des accidens ou des phénomènes qui répandroient l'alarme.

Dans quelques places, au lieu de creuser des puisards profonds ou de prolonger les conducteurs jusqu'à des puits et des masses d'eau fort éloignés, il sera possible, plus économique, et sous d'autres rapports avantageux, de former dans le voisinage des magasins un amas d'eau artificiel par des retenues, des dérivations, ou par quelques machines hydrauliques.

Dans quelques autres forteresses, au lieu de creuser des puisards qui ne conduiroient qu'à des couches de roc, il vaudra mieux étendre les ra-

cines du paratonnerre dans les couches supérieures de terre végétale, comme on voit les arbres et les plantes prolonger au loin, dans ces mêmes terreins, leurs racines traçantes et chevelues.

En général, la dispersion du fluide dans le réservoir commun est, après la continuité de la conduite, ce qui mérite le plus l'attention du physicien et de l'ingénieur. Pour concilier ce but avec l'économie, il est impossible de suivre un mode uniforme. Il faut, dans chaque place, reconnoître, sonder, étudier le terrein.

De la disposition des Paratonnerres.

On a remarqué qu'une pointe étendoit jusqu'à dix mètres sa sphère d'activité ; qu'au-delà de ce rayon son effet devenoit peu sensible, et que les pointes trop rapprochées neutralisoient réciproquement leur attraction. Il faut donc, sur un bâtiment de grandeur déterminée, multiplier assez le nombre des appareils pour qu'il soit couvert par leurs sphères d'attraction, et qu'elles se touchent sans se pénétrer.

Si le bâtiment n'a que dix ou quinze mètres en longueur ou en carré, il suffit d'une pointe unique élevée sur le milieu du bâtiment.

Quand l'édifice a de quinze à vingt mètres en longueur, il faut une pointe près de chaque pignon : on en place quatre vers les angles, lorsque le bâtiment est carré.

Ces exemples suffisent pour montrer comment on applique le principe.

Toutes les fois donc qu'un magasin à poudre sera fort élevé, ou situé sur une éminence, il ne sera pas inutile d'armer les pignons ou les angles de pointes horisontales ou inclinées.

Dans quelques places, les magasins à poudre, situés au pied des remparts ou en des positions analogues, sont dominés par des édifices, par le terrein même ou par des plantations. Il faut nécessairement munir les édifices trop voisins de paratonnerres, ou du moins armer les magasins à poudre de pointes horisontales dirigées contre ces édifices.

Si les remparts ou le terrein dominent de très-près le magasin à poudre, il sera prudent d'y placer un paratonnerre sur mât.

Les arbres ne sont foudroyés dans les orages que parce que leurs tiges font l'office de pointe; mais leurs troncs sont de mauvais conducteurs, et la foudre quelquefois les abandonne pour s'élancer sur des corps voisins; la prudence prescrit donc de ne point établir ni conserver, autour des magasins à poudre, de plantations trop voisines, sur-tout en arbres de haute-futaie.

Quel que soit le nombre de pointes dont un magasin soit armé, il faut les rendre solidaires par des conduites partielles, qui toutes aboutissent à la conduite principale.

Il importe, quand les pointes sont nombreuses, que les conduites principales soient multipliées; et, sur les magasins à poudre, il seroit convenable peut-être qu'il y eût toujours deux [illegible]

duites générales, afin que si l'une perdoit par accident sa continuité, la foudre trouvât par l'autre une issue.

Les pierres, les bois, et même la poudre de guerre, sont des substances moins conductrices que les métaux ; et des pièces de métal pourroient pénétrer sans danger dans l'intérieur du magasin à poudre, si elles étoient liées aux conduites principales par des conduites partielles de bonnes dimensions, et sans aucune discontinuité.

Toutefois il est plus prudent de ne laisser d'ouvrages en métaux qu'au-dehors, de disposer les tôles et les ferrures des portes et volets de manière que toutes les pièces métalliques soient extérieures, et d'éloigner d'ailleurs les poudres de ces issues.

Mais il est inutile de démolir les ouvrages en métaux qui ne pénètrent pas dans l'intérieur du bâtiment ; il suffit de les rattacher par des conduites partielles aux conduites principales; ce sont alors pour la foudre des canaux sans issue, dans lesquels le fluide peut se répandre, mais qu'il abandonne à l'instant pour fuir par la route facile que lui offrent les conduites.

On vient de voir qu'il est des cas où il convient de placer près d'un magasin à poudre un ou plusieurs paratonnerres sur mât.

On a proposé d'établir ainsi les paratonnerres de tous les magasins à poudre.

Sur le milieu d'un magasin de vingt mètres, s'élève une seule pointe d'un mètre ou d'un mètre

et demi : de part et d'autre règne, sur le faîte, une conduite en fil de cuivre de la grosseur du petit doigt ; cette conduite aboutit de part et d'autre à un paratonnerre sur mât, planté à environ seize décimètres des pignons.

Le but de ce dispositif est d'éloigner de ces foyers d'explosion les tiges et les conduites principales.

Mais ces paratonnerres deviennent beaucoup plus chers ; et comme l'excès des prix doit être multiplié par le nombre des magasins à poudre de tout l'Empire, il faudroit, pour adopter ce genre d'appareils, que des événemens bien constatés eussent prouvé le danger des appareils ordinaires.

CONCLUSION.

Telles sont en général les précautions qu'exige l'établissement des paratonnerres sur les magasins à poudre.

Les accidens causés par une construction vicieuse et par les dégradations qui ôtent au conducteur électrique sa continuité, ne peuvent entrer dans la balance, quand il s'agit d'évaluer l'espèce de garantie qu'offrent les paratonnerres.

On ne peut armer un bâtiment d'assez de pointes pour qu'il soit enveloppé de tous côtés par leurs sphères d'attraction, ni établir d'une manière absolue les limites de la foudre dans ses directions et dans ses effets.

Mais il en est des paratonnerres comme des pré-

servatifs que l'homme oppose à d'autres fléaux. Leur garantie est relative à l'expérience et fondée sur l'observation. Les faits antérieurs sont la base de la confiance qui leur est due. Toutes les chances sont en faveur du succès. Les accidens sont possibles et nullement probables. C'est tout ce que permettent à l'homme, dans les mesures de cette espèce, les limites de sa prévoyance et de ses facultés. C'en est assez pour qu'il soit prudent et sage d'armer de ces appareils conservateurs, des foyers d'explosion tels que les magasins à poudre. (*Fin de l'Instruction sur les Paratonnerres.*)

Faute à corriger.

Page 145, au lieu de $\frac{F\,t}{30^\circ - \cos\frac{30^\circ}{2}}$, *lisez* $\frac{F\,t}{30^\circ \cos\frac{30^\circ}{2}}$.

DOUZIÈME LEÇON.

Du Magnétisme.

Le magnétisme n'est pas une propriété commune à tous les corps ; il se manifeste, comme l'électricité, par des attractions et des répulsions à distances ; le fer est depuis long-temps connu pour la substance qui jouit le plus éminemment de la propriété magnétique ; dans ces derniers temps, on a découvert que le nickel et le cobalt possédoient la même propriété, mais à un degré moindre. Des morceaux de mines de fer, qu'on nomme *aimants*, s'attirent entr'eux et attirent le fer ; lorsque, par l'effet de cette attraction, ils sont réunis, il faut, pour les séparer, employer une force plus ou moins considérable selon la nature des aimants.

Les aimants naturels ont donné naissance aux aimants artificiels formés d'une ou plusieurs barres d'acier trempé. Deux aiguilles aimantées placées dans leur sphère d'activité, et oscillant sur un pivot en cuivre, présentent les phénomènes les plus remarquables du magnétisme ; elles prennent toutes deux la direction du plan vertical qui passe par les pointes des pivots ; leurs extrémités se rapprochent ou s'éloignent, et ces effets d'attraction ou de répulsion sont constans aux mêmes extrémités ; de sorte que si on met les aiguilles en présence

par d'autres extrémités, la répulsion succède à l'attraction, et l'attraction à la répulsion.

Une des aiguilles étant isolée, elle oscille jusqu'à ce qu'elle soit dans un plan vertical, dont la position, pour chaque lieu, est déterminée, et qu'on a nommé le plan du *Méridien magnétique ;* les choses se passent dans ce cas de la même manière que si une seconde aiguille fixe étoit située dans ce même plan, à une distance telle, qu'elle pût agir sur la première. Le plan du méridien magnétique d'un lieu fait, avec le plan méridien solaire du même lieu, un angle qui varie, et que l'expérience seule fait connoître; on nomme cette angle *déclinaison* de l'aiguille aimantée.

La force qui porte l'aiguille aimantée dans le plan du méridien magnétique, n'est pas la seule qui agit sur cette aiguille; si on la suspend sur deux pivots fixes par un axe horisontal qui les divise en deux parties égales, et qui soit perpendiculaire au plan du méridien magnétique, elle s'inclinera, dans ce plan, par rapport à l'horison, sous un angle qu'on nomme *l'inclinaison*, et qui varie, ainsi que la déclinaison, avec le lieu et le temps.

L'aiguille aimantée qui oscille sur un pivot vertical, est aussi soumise à la force qui produit l'inclinaison; on contrebalance cette force en séparant les centres d'oscillation et de gravité.

On a donné le nom de *pôles* aux extrémités d'une aiguille aimantée.

On explique ces différens phénomènes, en sup-

posant qu'il existe deux fluides magnétiques, jouissant de propriétés analogues à celles qui distinguent les deux fluides électriques, c'est-à-dire, qu'ils se repoussent lorsqu'ils sont de mêmes noms, et qu'ils s'attirent lorsqu'ils sont de noms différens. Pour rendre raison du mouvement d'une aiguille aimantée isolée, on a imaginé que la terre renfermoit, ou étoit elle-même un noyau magnétique, dont l'action remplaçoit celle d'une autre aiguille, et qui avoit, comme cette aiguille, deux pôles qu'on a nommés, l'un *pôle nord,* parce qu'il étoit plus voisin du vrai pôle *nord* que du vrai pôle *sud,* et l'autre pôle *sud,* pour la même raison.

En adoptant ces hypothèses, les pôles *nord* et *sud* d'une aiguille aimantée sont tournés vers les pôles *sud* et *nord* du noyau magnétique; le fluide magnétique est *boréal* ou *austral,* selon qu'il agit au pôle *nord* ou au pôle *sud* de l'aiguille.

En admettant l'analogie des fluides magnétique et électrique, il est important d'en connoître les différences; elles consistent principalement en ce que le fluide magnétique d'un aimant ne se communique pas à un autre corps avec lequel il est en contact, et que dans le cas où l'aimant touche le fer ou l'acier, les fluides magnétiques s'accumulent sur chacun des corps mis en contact, sans se réunir; d'ailleurs le fluide magnétique ne se manifeste par aucun phénomène lumineux. La principale analogie de ce fluide avec le fluide électrique est dans le mode d'action. Coulomb a démontré, au moyen de la balance

de torsion qui a été décrite dans la leçon précédente, que le fluide magnétique agit en raison inverse du carré des distances.

Quel que soit le nombre des parties dans lequel on divise une aiguille aimantée, chaque partie est un aimant qui a ses pôles comme l'aiguille entière; ce phénomène est analogue à celui que présente la tourmaline électrisée; en cassant cette tourmaline, chaque morceau est encore électrisé aux deux extrémités positivement et négativement: on en a tiré cette conclusion, que chaque molécule d'un aimant a deux pôles de noms différens.

L'analogie des deux fluides électrique et magnétique m'avoit déterminé à faire l'expérience dont j'ai rendu le compte suivant, dans le Cahier de la Correspondance sur l'École Polytechnique, de décembre 1803: « Les deux fluides que les » physiciens ont admis pour l'explication des » phénomènes électriques et magnétiques dif- » fèrent entr'eux par certaines propriétés, et » ils en ont d'autres qui leur sont communes. » Un grand nombre d'expériences ont eu pour » objet la comparaison et le rapprochement de » ces fluides: M. Desormes et moi avions pensé » que la pile électrique pourroit être employée » comme un nouveau moyen de remplir le même » objet; après avoir vérifié qu'une barre d'acier » foiblement aimantée et placée dans un bateau » flottant sur une eau tranquille, prenoit, en très- » peu de temps, la direction de l'aiguille aimantée » d'une boussole, nous nous sommes proposés

» d'observer la pile électrique dans une position
» semblable; nous désirions donner à cette pile une
» grande longueur, et néanmoins éviter une trop
» grande augmentation de poids dans la charge
» du bateau. Pour remplir ce double but, nous
» fîmes étamer des tôles minces de cuivre avec
» un alliage de zinc et étain, et au moyen d'un
» emporte-pièce d'acier nous avons fait découper
» environ 1400 plaques, du diamètre 0^{mètre}, 035;
» quarante de ces plaques pesoient environ 60^{gram}.

» A l'époque où nous nous occupions de ce
» travail, M. Orsted fit imprimer dans le Journal
» de Physique (brumaire an 12, novembre 1803)
» un Mémoire de M. Ritter sur les piles que ce
» physicien appeloit *secondaires;* la conséquence
» principale des faits rapportés dans ce Mémoire
» est que *la terre a des pôles électriques comme*
» *elle a des pôles magnétiques, et qu'il faut*
» *ajouter au méridien magnétique un méridien*
» *électrique.* (Tome LVII, page 363 du Journal
» de Physique.)

» M. Desormes m'ayant engagé à terminer seul
» le travail que nous avions commencé ensemble,
» j'ai monté une pile de 1400 pièces préparées
» comme il vient d'être dit, et séparées par
» d'autres pièces de carton mouillé d'une eau lé-
» gèrement salée. Cette pile étoit supportée dans
» le sens de sa longueur, par des tubes de verre;
» l'ayant isolée, je la couchai horisontalement
» dans un petit bateau qui flottoit sur une eau
» parfaitement tranquille: sa longueur étoit en

» viron un mètre. On pouvoit espérer que la pile » ainsi placée obéiroit à la moindre force qui » tendroit à lui donner une direction déterminée. » Je me suis assuré qu'elle étoit indifférente à » toute espèce de direction : des barres et des » fils d'acier trempé, placés entre les deux pôles » de la pile, ainsi qu'il est dit par M. Ritter pour » des fils d'or (page 365 du Mémoire cité), ne se » sont pas aimantés sensiblement.

» Aucune pile (1) n'avoit encore présenté les » phénomènes électriques d'une manière aussi » intense que cette dernière; sans avoir recours » au condensateur, les lames d'or de l'électro- » mètre, placé à une des extrémités de la pile, » non seulement divergeoient sensiblement au » premier instant, mais la divergence croissoit » avec le temps; et après un temps assez court, » que cependant on apprécioit facilement, ils » s'écartoient au point de donner l'étincelle, et » de frapper les parois du vase qui les contenoit. » J'ai observé ces mêmes effets pendant sept jours: » le huitième, l'action de la pile avoit cessé, et la » pile même ne pouvoit plus être remise dans son » état primitif, parce que l'oxidation avoit enlevé » une grande partie de l'étamage des plaques.

» La commotion qu'on éprouvoit à l'aide de » cette pile, étoit très-foible, ce qui prouve que » cet effet physiologique ne dépend pas seule-

(1) La pile donnée par S. M. I. à l'École Polytechnique (v[illegible] page 188) présente les mêmes phénomènes.

» ment de la *tension* de l'électricité sur le der-
» nier couple de la pile. »

Dans le même temps où j'ai fait cette expérience, je me suis assuré que l'augmentation de tension aux pôles électriques d'une pile à grandes dimensions, n'augmentoit pas sensiblement les effets chimiques; ayant fait construire l'appareil que j'ai décrit page (187), j'ai réduit successivement la distance des couples de la pile à six millimètres environ; puis j'ai établi sa communication avec la pile de 1400 plaques, qui avoit servi pour l'expérience du magnétisme; les effets de cet appareil appliqué à la combustion des métaux, n'ont pas augmenté sensiblement.

Des Armures d'un Aimant naturel.

L'aimant naturel a, comme l'aiguille aimantée, ses deux pôles, c'est-à-dire, deux points vers lesquels l'intensité des fluides magnétiques est la plus grande; on taille ordinairement l'aimant naturel sous la forme de parallélipipède, dont deux faces opposées contiennent les pôles de cet aimant, et sont perpendiculaires à la droite qui joint ces deux pôles; un plan parallèle aux faces des pôles, et qui en est à égale distance, partage l'aimant naturel en deux parties, qui sont aimantées l'une par le fluide magnétique *boréal*, et l'autre par le fluide magnétique *austral*. L'intensité de chacun des fluides est croissante depuis le plan milieu jusqu'aux deux faces opposées qui lui sont parallèles.

L'armure d'un aimant naturel consiste en deux lames de fer doux qui s'appliquent sur les faces des pôles, et qu'on nomme *jambes*; chaque jambe est terminée par un *pied;* les extrémités des pieds deviennent les pôles de l'armure; les jambes sont fixées par des cercles de cuivre.

L'objet d'une armure est d'augmenter les effets magnétiques d'un aimant naturel; les jambes des armures se magnétisent par l'influence des pôles de l'aimant naturel.

On estime la force d'un aimant par le poids qu'il peut supporter; un morceau de fer doux qui s'applique sur les pieds de l'armure, porte un anneau qui reçoit le crochet du poids dont on veut charger l'aimant; on a observé qu'un aimant qui n'étoit pas chargé perdoit en peu de temps la plus grande partie de sa vertu magnétique.

Des Aimans artificiels.

Les aimans artificiels sont formés d'une ou plusieurs barres d'acier trempé; pour aimanter une de ces barres, on place les pieds des armures de deux aimants naturels sur le milieu de la barre, en observant que ces pieds correspondent à des pôles de noms différens; puis on fait glisser les aimants naturels jusqu'à ce qu'ils aient dépassé les extrémités de la barre; enfin on les ramène dans la première position, et on continue la même opération jusqu'à ce qu'on ait obtenu le *maximum* d'accumulation du fluide magnétique dans les extrémités de la barre.

Si, au lieu d'une barre d'acier trempé, on en prenoit une non trempée, ou de fer doux, elle éprouveroit à chaque opération l'influence magnétique, mais elle reprendroit son état primitif lorsqu'elle ne seroit plus en contact avec les aimants naturels; ce qui distingue l'acier trempé, c'est de conserver l'état magnétique qu'il reçoit par l'action successive des aimans.

On peut substituer deux barreaux aimantés aux aimans naturels; et, dans ce cas, on a observé qu'il étoit avantageux d'incliner les barreaux aimantés sous un angle de 10° à 12° par rapport au barreau à aimanter.

Lorsqu'en aimantant un barreau, on ne fait pas glisser jusqu'à ses extrémités les barreaux aimantés, les points où ceux-ci s'arrêtent deviennent des pôles; les fluides magnétiques réunis dans ces pôles déterminent par influence la formation d'autres pôles; on a donné à ces pôles d'un même barreau le nom de *Points conséquens*.

Les barres aimantées étant réunies, elles forment un faisceau magnétique, dont les effets sont comparables à ceux des aimants les plus forts.

Après avoir suivi le procédé qu'on vient de décrire pour obtenir un aimant artificiel, il est facile, lorsqu'on connoît les pôles des deux autres aimants qu'on a fait glisser, d'indiquer les noms des fluides accumulés aux pôles du premier aimant.

Un barreau de fer doux placé par rapport au méridien magnétique suivant l'angle déterminé par une aiguille d'inclinaison, s'aimante natu-

rellement et peut servir à aimanter un barreau d'acier trempé.

Des instrumens qui sont exposés à des frottemens ou à des chocs, tels que des limes, des ciseaux, sont susceptibles d'acquérir la propriété magnétique.

Si la théorie du magnétisme n'est pas très-avancée, cette partie de la physique n'en est pas moins intéressante par la construction des boussoles de terre et de mer, et par l'application qu'on en a faite à la navigation.

(Voyez la planche D *du Magnétisme.)*

EXPLICATION DES FIGURES.

DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE (page 48).

Explication de la Planche A.

Baromètre portatif, à niveau constant (exécuté par FORTIN).

LES parties principales de ce baromètre sont, 1°. un tube de verre bien calibré qu'on emplit de mercure ; 2°. une cuvette qui contient aussi du mercure, et qui reçoit l'extrémité inférieure du tube.

La construction du baromètre doit avoir pour objet, 1°. de tenir le tube de verre dans une position verticale ; 2°. d'indiquer les plus petites variations de hauteur du mercure dans le tube ; 3°. de fixer à volonté le mercure et dans le tube et dans la cuvette.

En remplissant toutes ces conditions, le baromètre est portatif et à niveau constant.

Les fig. 1 et 2 font voir le baromètre, lorsqu'on est en station pour observer la hauteur de la colonne de mercure dans le tube de verre.

Les fig. 3 et 4 indiquent la forme de la cuvette qui reçoit l'extrémité du tube du baromètre.

Les fig. 5 et 6 présentent le mécanisme par lequel on donne au tube du baromètre une position verticale.

Enfin la fig. 7 représente le nonius appliqué à l'échelle du baromètre.

De la Cuvette qui reçoit l'extrémité inférieure du Tube du Baromètre.

On voit de *A* en *B* (fig. 1) la projection de cette cu-

vette ; la fig. 3 est une *coupe* de toutes les parties qui la composent ; comme cette figure est construite sur une échelle d'un mètre pour mètre, nous allons nous en servir pour l'explication.

La cuvette est d'une forme cylindrique; son couvercle (fig.3) $a\ b\ c\ d\ e\ a'\ b'\ c'\ d'\ e'$ est en bois ; il repose sur un cylindre creux de verre $c\ f\ c'\ f'$, mastiqué sur un cylindre creux en bois $f\ g\ k\ m\ n\ l\ h\ f'$ formé de deux pièces réunies par une vis en $o\ p$. Le fond de la cuvette est un solide de révolution, dont la section par l'axe est $r\ q\ s\ y\ u\ x\ v\ t$; ce fond est aussi en bois ; il reçoit dans sa partie creuse $v\ y\ x$, l'extrémité (cuivre) d'une vis en acier, dont l'écrou fixe est en $E\ C$.

Le cylindre $f\ g\ k\ m\ n\ l\ f\ h\ f'$ et le fond $r\ q\ s\ y\ u\ x\ v\ t$ sont réunis par une peau ; des rainures, creusées sur leurs bords, reçoivent les fils qui attachent la peau sur ces bords; cette peau, en se prolongeant, forme la bourse à mercure $P\ P'$; quant au couvercle, il adhère, par une légère couche de mastic, au cylindre de verre sur lequel il repose ; une peau roulée et liée par des fils sur la partie $B\ B'$ du tube, s'attache au couvercle par d'autres fils roulés sur la partie $a\ e\ a'\ e'$ de ce couvercle.

Il est important d'observer que cette dernière peau attachée au tube en $B\ B'$ empêche le mercure de sortir de la cuvette, mais qu'elle est assez poreuse pour offrir un libre passage à l'air atmosphérique.

Deux cylindres creux en cuivre $F\ G\ H\ K$ et $L\ M\ O\ N$ servent d'enveloppe à la cuvette et ne laissent à découvert que la portion en verre $c\ c'\ f\ f'$; ces deux cylindres sont réunis par trois tiges droites dont les extrémités sont taillées en vis dont on voit les têtes en (V), (V') (fig. 3) et en V, V', V'' (fig. 4).

Sur le cylindre en bois $f\ g\ h\ k\ l\ m\ n\ h\ f'$ est mastiquée une rondelle en cuivre, dont l'extérieur est taillé en vis pour recevoir l'écrou de l'enveloppe extérieure $F\ G\ H\ K$.

De la manière d'obtenir le Niveau constant, et de rendre le Baromètre portatif.

La description de la cuvette du baromètre sera complète, et on pourra en expliquer l'usage, lorsqu'on aura ajouté qu'une épingle $\iota\,\omega$ (fig. 3), $\iota'\,\omega'$ (fig. 4) en ivoire, traverse son couvercle, qu'elle y est fixée, et que l'extrémité ι de cette épingle est dans le plan du niveau constant.

Après avoir mis dans la cuvette et le tube une quantité suffisante de mercure, on tourne la vis $A\,y$ (fig. 3) dans l'écrou EC; le fond $\nu\,x\,y$ élève le mercure contenu dans la poche $P\,P'$, emplit la cuvette et la partie vide du tube ; alors le tube est portatif, c'est-à-dire, qu'on a fixé le mercure et dans le tube et dans la cuvette, en supprimant l'espace dans lequel il pouvoit se mouvoir ; il faut cependant avoir attention de ne pas remplir entièrement le vide du baromètre, et d'y laisser un petit espace libre, pour éviter la pression qui résulteroit de la dilatation du mercure.

Qu'on suppose maintenant ce tube du baromètre plein et suspendu verticalement ; pour obtenir le niveau constant, on fera tourner la vis $A\,y$ dans le sens contraire à celui qui élève le mercure, et on arrêtera le mouvement à l'instant *où la pointe* ω *et son image à la surface du mercure* coïncideront ; cette observation suppose le tube dans une situation verticale ; on va voir par quel moyen on lui donne cette position.

De la Suspension du Baromètre.

Le tube en verre du baromètre est enveloppé d'un cylindre de cuivre, qui s'étend depuis $N\,O$ (fig. 1) jusqu'en $N'\,O'$; cette enveloppe est percée de deux rainures D, D', qui permettent de voir la colonne de mercure dans le tube de verre ; deux anneaux placés sur la longueur de cette rainure, consolident l'enveloppe dans cette partie.

Aux naissances D des rainures, on met du liège entre le cuivre enveloppe et le tube de verre.

Explication des Figures 5, 6.

Les fig. 5, 6, font voir le fond supérieur de l'enveloppe du tube du baromètre dans sa verticale grandeur ; ce fond est une plaque circulaire $N' O'$ (fig. 5) et $d e f$ (fig. 6) avec prolongement a, b, c de trois rayons ; un anneau $g h$ (fig. 6), $g' h'$ (fig. 5) est fixé sur cette plaque ; on y passe le doigt pour soutenir le baromètre ; $O' k$ (fig. 5) est l'épaisseur de la plaque.

Les extrémités des rayons a, b, c (fig. 6) sont posées librement sur une saillie pratiquée dans l'épaisseur du bord de la couronne en cuivre $l k m n$ (fig. 5) ; cette couronne roule sur deux petits axes o, p, fixés à une autre couronne $n m q r$ qui roule elle-même sur deux petits axes, projetés en s (fig. 5) et en s', s'' (fig. 6) ; ces deux derniers axes sont fixés à la troisième couronne $t v x y$ (fig. 5), dans laquelle les trois pieds en bois P, P', P'', s'assemblent à charnières A, B.

Il seroit à craindre que les extrémités a, b, c des rayons (fig. 6) ne s'échappassent par les mêmes ouvertures z, z', z'', qui ont servi à les placer sur l'épaisseur du bord de la première couronne ; pour éviter cet accident, deux vis V, U, traversent cette couronne, et entrent dans un écrou pratiqué sur l'épaisseur de l'enveloppe en cuivre du tube du baromètre ; par cette disposition, la couronne et le tube ne forment qu'un même système qui participe aux mêmes mouvemens.

Le double mouvement de rotation permet évidemment au tube du baromètre de prendre la position verticale.

Les trois pieds en bois (fig. 1) P, P', P'' sont creux ; étant rapprochés, ils servent d'enveloppe au baromètre entier ; trois tringles aa', bb', cc' fixées par un anneau à un des pieds, s'accrochent à un autre pied ; elles empêcheroient le baromètre de tomber, dans le cas où les pointes placées aux extrémités des pieds, glisseroient sur le terrain.

Comme il est important de mettre le baromètre et son pied

à l'abri des injures du temps, on les enveloppe d'un sac de cuir, dans lequel l'eau ne peut pas pénétrer; ce sac est garni d'une bandoulière qu'on passe sur l'épaule pour transporter le baromètre, en observant de tenir la cuvette vers le haut du corps.

Les moyens de rendre le baromètre portatif, de le suspendre verticalement, d'obtenir le niveau constant, sont connus par les descriptions qui précèdent; il ne s'agit plus maintenant que d'observer bien exactement la hauteur du mercure, au moyen d'une échelle graduée.

De l'Echelle du Baromètre.

L'enveloppe en cuivre du baromètre porte deux échelles qu'on distingue (fig. 1) aux deux côtés des rainures D, D'; la première à gauche est en pouces et demi-lignes, la seconde est en centimètres et millimètres; deux échelles de Nonius (v v' e r, fig. 7) donnent, l'une la vingtième partie de la demi-ligne, et l'autre, la dixième partie du millimètre.

(*Explication du la figure 7.*) Cette figure 7 fait voir le nonius dans sa grandeur naturelle; il est d'une forme cylindrique; il glisse sur l'enveloppe du tube; pour le faire mouvoir, on applique la main sur les anneaux saillans a b, c d; deux rainures e, f, laissent à découvert le tube de verre; la première échelle du nonius tracée sur l'un des côtés de la rainure, comprend 19 demi-lignes divisées en 20 parties; la seconde échelle a pour longueur 9 millimètres divisés en 10 parties; la dixième partie est marquée par la ligne f prolongée. Pour observer la hauteur du baromètre, on met les deux bords supérieurs f des rainures du nonius, au niveau du mercure dans le tube; la distance de ces deux bords est assez grande, pour qu'on juge leur coïncidence avec le plan du niveau; à l'enveloppe en cuivre du tube en verre du baromètre, est fixé un thermomètre centigrade TH (fig. 1).

OPTIQUE.

Explication de la Planche B.

DES CAUSTIQUES.

Fig. 1. *Objet vu par réfraction.*

On suppose une flèche *A B* plongée dans un bassin d'eau, dont le niveau est *M N*. Un spectateur placé en *S*, voit cette flèche suivant *A' C' B'*. Pour déterminer l'image *B'* d'un point quelconque *B* de la flèche, on cherche la caustique de réfraction correspondant à ce point; un rayon quelconque *B a* entrant dans l'air, se réfracte suivant *a f*, de telle manière que les deux sinus *b d* et *f e* sont dans le rapport de 3 à 4; la ligne *a f* est une tangente de la caustique de réfraction, correspondant au point *B*. Cette caustique *A B' B* étant tracée, on lui mène une tangente par le point *S*, et le point de tangence *B'*, est l'image du point *B*.

On construit de la même manière les images *A'*, *C'*; cette figure explique pourquoi la flèche *A B* droite, paraît courbe en A' *B'*, et de plus rapprochée du niveau de l'eau *M N*.

Fig. 2. *Foyer de Lentille.*

Un faisceau *A B C D* de rayons parallèles, passe de l'air dans un globe de verre rempli d'eau; n'ayant pas égard à l'épaisseur du verre, chaque rayon du faisceau se réfracte deux fois, en passant de l'air dans l'eau et de l'eau dans l'air; après cette double réfraction, les rayons parallèles du faisceau forment une caustique *G F G'*, dont les deux branches *G F*, *G' F* touchent le diamètre *B O F* du globe, au point *F*; ce point se nomme *foyer*; le rapprochement des branches de la caustique en ce point, fait voir qu'en effet la lumière y est plus intense que sur le faisceau même *A B C D*.

Les fig. *a* et *b* font voir que les lentilles convexes rendent les rayons parallèles convergens, et les concaves les rendent divergens ; c'est ce qui explique l'usage des *besicles* pour corriger les défauts de la vue.

Les opticiens polissent des verres de lunette convexes destinés aux presbytes, sur des sphères dont les rayons varient depuis 48 pouces (1^{m}, 23) jusqu'a 18 lignes (0^{m}, 04) ; les verres qui se vendent le plus souvent, sont entre 7 et 12 pouces ou 0^{m}, 19 et 0^{m}, 32.

Les verres concaves à l'usage des myopes, sont polis sur des sphères de 80 à 3 pouces de rayon, ou de 2^{m}, 27 à 0^{m}, 08 ; ceux de 36 pouces (0^{m}, 97) à 7 pouces (0^{m}, 12), conviennent au plus grand nombre de myopes.

Fig. 3. *Miroir plan.*

L'objet $A\ B$ placé devant le miroir $M\ N$, se voit en $A'\ B'$ derrière ce miroir ; quelle que soit d'ailleurs la position du spectateur, cette image ne change pas ; elle est de même forme que l'objet ; chacun de ses points est autant au-delà du miroir, que le point correspondant de l'objet est en-deçà ; cela résulte de ce que la caustique d'un point quelconque B de l'objet se réduit à un point B', tel qu'on a $B\ N = B'\ N$; la droite $B\ B'$ étant perpendiculaire au plan du miroir.

Fig. 4. *Miroir convexe.*

$A\ C\ B$, objet en avant du miroir ; $A'\ C'\ B'$, image en arrière du miroir ; $A'\ F\ A'''$, caustique correspondante à un point quelconque A.

Les caustiques des trois points A, C, B étant construites, par le point S, lieu du spectateur, on mène les trois tangentes SA', SC', SB', et la ligne qui joint les trois points de contact A', C', B', est l'image de l'objet $A\ B$; d'où l'on voit que dans un miroir convexe l'image est toujours placée derrière le miroir, et plus petite que l'objet.

Fig. 5, 6, 7. *Miroirs Concaves.*

Ces trois figures ont pour objet de faire connoître la position de l'image d'un objet, selon la distance de cet objet au miroir, qui peut être ou plus grande que le rayon (fig. 5), ou plus petite que la moitié du rayon (fig. 6), ou enfin plus grande que cette moitié, et cependant moindre que le rayon (fig. 7).

Dans ces trois figures, l'image de l'objet $A\ C\ B$ est représentée par $A'\ C'\ B'$; le spectateur est en S, et la caustique de réflexion d'un point quelconque A est $A'\ F\ A''$.

On a indiqué par un trait plein (fig. 5, 7) les portions de caustiques correspondantes aux portions MN de surfaces sphériques qui terminent le miroir donné. Pour construire les caustiques complettement, il faut employer le cercle entier, dont $M\ N$ est un arc.

La fig. 5 explique l'apparence de l'épée dans l'œil, et de la rose qui disparoît lorsqu'on veut y porter la main.

La fig. 6 fait voir l'usage des miroirs concaves pour grossir les objets.

ÉLECTRICITÉ.

Explication de la Planche C.

DES PARATONNERRES.

Fig. 1re. PLAN et profil d'une aiguille ordinaire conique, ayant à sa base trois centimètres de rayon. Sa hauteur peut varier de cinq à dix mètres. Cette aiguille peut aussi être pyramidale.

a b. Aiguille détaillée *fig.* 2.

c. Collet ou renfort de la tige pour assurer sa jonction aux pattes et à la conduite.

d d d d. Pattes ou griffes en fer que l'on peut sceller sur l'extrados de la voûte, ou boulonner dans la charpente de la toiture.

e. Amorce du corps ou de la conduite qui doit offrir au fluide électrique un canal d'écoulement continu dans tous les points.

Fig. 2. Détail de l'aiguille.

f g. Pointes de trois centimètres en or ou en platine; tout autre métal s'oxideroit, et la pointe perdroit sa propriété attractive.

g h. Baguette en cuivre d'un à deux mètres de longueur. Cette baguette s'assemble à vis avec le reste de la tige, pour pouvoir démonter et réparer les pièces à volonté.

h i. Corps de la tige dont toutes les parties doivent être soudées ou vissées avec beaucoup de soin. On dore quelquefois cette tige pour la préserver de la rouille, mais la peinture remplit plus économiquement cet objet, et convient sur-tout aux paratonnerres des magasins à poudre.

Fig. 3. Élévation d'une aiguille formée d'une simple barre en fer carrée de deux ou trois centimètres d'épaisseur, surmontée d'une baguette en cuivre avec pointe en or ou platine, qu'on peut adopter par économie et sans inconvénient dans les appareils ordinaires, lorsque cette tige a peu de hauteur.

Fig. 4, 5 et 6. Assemblages divers des conduites, à entaille, à tenon et mortaise, en biseau : l'entaille à mi-fer est préférée, parce qu'elle affoiblit moins la barre. Pour rendre la continuité plus parfaite et l'assemblage plus solide, on interpose entre les surfaces, avant de les visser, une lame de plomb. Chaque barre est fixée au bâtiment par un demi-collet ou double crampon, qu'on

peut entailler dans les barres pour éviter les désunions.

On peut substituer à ces conduites en barres de fer, des cordes en fil de fer, de cuivre, ou même de chanvre, dans les appareils provisoires.

Fig. 7. Manière dont on enroule les conduites en corde autour de la tige.

k k k k. Vis ou goupille qui fixent et pressent la corde contre la tige et le collet, auquel on donne alors la forme conique.

Fig. 8. Pointes ordinaires des racines en plomb, quand la conduite aboutit à un puits ou à de la terre fort humide.

Fig. 9. Plan et profil d'une sphère de racine. On multiplie les sphères ou on les réduit à des lames circulaires, suivant que la conduite aboutit à des couches plus ou moins réfractaires. Les roches, les sables, les terres peu humides exigent plusieurs sphères de racines, dont les tiges en plomb soient assemblées solidement à la conduite par un renfort ou collet.

Fig. 10. Conducteur en barres de fer ou cordes métalliques, soutenu le long du toit sur des pitons établis de distance en distance, et scellés dans la pierre, ou solidement fixés dans la charpente.

F. 10 *bis*. Détail du piton destiné à recevoir les barres de transmission.

Fig. 11. Paratonnerre sur aiguille en bois.

a. Aiguille en bois sec, élevée de deux mètres au-dessus du faîte du magasin, et recouverte d'un enduit de résine.

b. Chapiteau en cuivre portant la flèche du paratonnerre terminée à son sommet par une petite plaque en platine.

c. Cordes de fil de fer qui partent du chapiteau et

vont s'attacher à une distance convenable à des barres de même métal communiquant au réservoir commun. Ces cordes sont formées de vingt-sept fils de fer recuits, et bien réunis ensemble.

Fig. 12. Paratonnerre sur mât de vaisseau, avec conducteur en corde métallique, applicable aux tentes et baraques, etc.

A B. Aiguille servant de fût de girouette, armée d'une pointe de cuivre doré, et fixée à l'extrémité du mât de perroquet.

Fig. 13 et 14. Détail du paratonnerre sur mât de vaisseau.

a c. Pointe de cuivre rouge, dorée.

c. Écrou à vis pour tenir la pointe dorée.

b. Fût de girouette en cuivre.

e. Girouette attachée par une pomme de fil.

f. Anneau pour visser.

g. Écrou à vis du fût de la girouette.

h. Bande de cuivre de quinze lignes garnissant la flèche de perroquet, et assujettie par des clous i, i.

h. Piton et crochet servant à fixer le conducteur au mât de perroquet.

j. Conducteur métallique, ou corde en fil de fer de dix-huit lignes, allant de la bande de cuivre h, jusqu'à la ligne de flottaison, en suivant la courbure du vaisseau.

Fig. 15. Détail d'un paratonnerre sur mât qu'on emploie quand les bâtimens sont dominés de près par le rempart ou par le terrein.

l. Aiguille ordinaire élevée sur mât.

m. Mât supportant les conducteurs électriques.

n. Colliers pour fixer les barres contre les mâts.

o. Augets renfermant les conducteurs sous terre. Ces

augets peuvent être en chêne bien assemblé, goudronués ou charbonnés, etc.

p. Assemblage de charpente pour contenir le mât.

Exemples d'application à des Magasins à Poudre.

Fig. 16. Magasin isolé avec paratonnerre ordinaire dont la conduite aboutit dans un puisard plein d'eau.

Fig. 17. Magasin isolé avec paratonnerres sur mâts, dont la conduite aboutit dans un puisard de terre humide, et se termine par une sphère de racines.

Fig. 18. Magasin dominé par un édifice, avec pointes contre cet édifice.

Fig. 19. Magasin dominé par un rempart, et garni des effets de la foudre par un paratonnerre sur mât placé sur ce rempart, et par une aiguille ordinaire placée sur la voûte du bâtiment, les deux conduites rendues solidaires et aboutissant à un réservoir commun.

Fig. 20. Magasin avec paratonnerre monté sur chapiteau en cuivre avec corde métallique, et portée sur une aiguille.

Fig. 21. Magasin situé sur un terrein élevé, garni de deux aiguilles sur son comble et de pointes à ses angles, contre le choc oblique des nuages.

MAGNÉTISME.

Explication de la Planche D.

Fig. 1, 2. *Plan et coupe d'une Boussole marine.*

Pour les boussoles ordinaires, on suspend l'aiguille sur un pivot, dans une boîte que l'on couvre d'une glace ; le fond de la boîte est divisé en degrés, et la ligne qui passe par les points 0° et 180°., représente la méridienne. Un alidade ou une lunette mobile sur un axe perpendiculaire à la face de la boîte parallèle à la méridienne, se dirige vers les différens points de l'horison ; quant à la boussole dont on fait usage à la mer, l'aiguille n'est pas libre comme dans la boussole précédente ; on la charge d'un carton léger ou d'un morceau de talc taillé en rond, et collé entre deux morceaux de papier ; en sorte que dans son mouvement elle est obligée d'entraîner avec elle ce cercle qui, par sa masse, modère la facilité qu'elle auroit à vaciller. C'est sur ce cercle qu'on trace la *rose des vents* ; on nomme ainsi un cercle divisé en 32 parties égales, qu'on nomme *rhumb* ou *air de vent*. On voit, fig. 1, la position de 16 rhumbs ; quant aux airs de vent intermédiaires, on les désigne comme dans ces deux exemples : le rhumb qui tient le milieu entre le N et le $N\ N\ E$, s'écrit ainsi : $N\ \frac{1}{4}\ N\ E$, et celui qui est placé entre le $N E$ et le $N\ N E$, s'écrit $N\ E\ \frac{1}{4}\ N$.

La fig. 2 est la coupe de la boîte qui porte l'aiguille ; son pivot $C\ D$ repose sur le plan $A\ B$; cette boîte, au moyen de deux boulons a, d (fig. 1), qui entrent dans le balancier $a\ b\ c\ d$, peut tourner autour de la droite $a\ d$; et le balancier lui-même peut tourner autour de la droite $c\ b$, perpendiculairement à $a\ d$, au moyen de deux boulons b, c, qui entrent dans une boîte quarrée extérieure $V\ X\ Y\ Z$; en sorte que la boîte intérieure peut se balancer en même temps autour de $a\ d$ et de $b\ c$; pour diminuer sa mobi-

lité et lui donner plus de disposition à garder sa situation naturelle, on charge de plomb sa concavité, et sa suspension lui procure l'avantage de revenir à sa situation naturelle par un mouvement plus doux, lorsqu'elle en a été dérangée par l'agitation du vaisseau.

On a grand soin, dans la construction d'une boussole, de n'employer ni fer, ni acier.

Quand la boussole sert à relever les objets, on l'appelle *compas de variation*, alors on la garnit de deux pinnules P, P' (fig. 2), par lesquelles on vise aux objets; $N' S'$ est la projection de la rose des vents; le centre d'oscillation de l'aiguille aimantée ne correspond pas à son centre de gravité; on y ajoute sur une de ses branches un petit poids, pour contrebalancer la force qui *produit l'inclinaison*.

Aiguille d'Inclinaison.

(Cet Instrument appartenant au Cabinet de Physique de l'École Polytechnique, a été exécuté par M. Lenoir.)

L'aiguille roule sur un axe en cuivre, dont les extrémités sont en acier; le milieu de l'aiguille est le centre d'un arc de cercle de 60° divisé en degrés; cet arc est supporté par son milieu sur un cylindre creux qui entre à frottement libre dans un autre cylindre soudé d'équerre sur un cercle divisé en degrés; une aiguille qui part du support de l'arc, marque sur ce cercle l'angle dont le plan de l'arc a tourné sur l'axe vertical qui passe par son centre.

Le cercle divisé repose sur une pièce en cuivre, terminée par trois branches dont les extrémités portent des vis; lorsqu'au moyen de ces vis le cercle est horisontal, le plan de l'arc qui a pour centre le milieu de l'aiguille, est vertical; aux extrémités de l'arc, et perpendiculairement à son plan, s'élève de chaque côté un petit parallélipipède fixé par son milieu sur l'épaisseur de l'arc; deux lames de cuivre parallèles entr'elles et au plan de l'arc, et inclinées par rapport à l'horison, sont retenues à vis sur les extrémités de ce parallélipipède; deux

autres lames semblablement placées sur l'autre parallélipipède, se réunissent avec les deux premiers sur un châssis qui supporte l'axe de l'aiguille ; un fil aplomb suspendu à ce même châssis, correspond au zéro de la division de l'arc, lorsque le plan de cet arc est vertical.

Pour faire usage de cet instrument, on tourne l'arc sur son pivot (amené à la position verticale) jusqu'à ce que l'aiguille mobile sur son axe, soit verticale : alors le plan de l'arc est perpendiculaire à celui du méridien magnétique ; pour ramener cet arc dans le méridien, on le fait tourner d'un arc de 90 degrés ; l'aiguille, après un certain nombre d'oscillations, prend une position fixe, qui permet d'observer l'angle qu'elle fait avec la verticale ; le complément de cet angle et la mesure de l'*inclinaison* $a\ b\ c\ d$ (fig. 1) $a'\ b'\ c'\ d'$ (fig. 2) sont les projections du châssis qui supporte l'axe de l'aiguille $A\ I$.

L'arc du cercle qui mesure l'inclinaison de l'aiguille est $f\ g$ (fig. 1), $f'\ g'$ (fig. 2).

Le 31 octobre 1808, cet instrument marquoit pour le complément de l'inclinaison, 22° $\frac{1}{4}$.

TABLEAUX

Contenant les Nombres dont on fait le plus souvent usage en Physique.

PREMIER TABLEAU.

Mesures, Poids, Monnoie de France.

L'unité de longueur est la dix-millionième partie du quart du méridien de Paris; on la nomme *mètre.*

Le *litre* est l'unité de mesure pour les liquides; il vaut un décimètre cube.

Le *stère* est l'unité de mesure pour les bois de chauffage; il vaut un mètre cube.

L'*are* est la mesure pour les champs; il vaut un décamètre carré.

L'unité de poids est le décimètre cube d'eau distillée, pesée au terme de sa plus grande condensation; on l'appelle *gramme.*

Le pendule qui bat les secondes, est à Paris de $0^{m}, 99385$; en sorte que si on ajoute à cette longueur six millimètres, quinze centimillimètres, on aura la vraie longueur du mètre.

L'unité monétaire est une pièce d'argent du poids de cinq grammes, qu'on appelle *franc.*

Une pièce de 40 francs en or, pèse 12gram. 9.

Toutes les pièces d'or ou d'argent contiennent neuf dixièmes de leur poids de métal pur; l'autre dixième est en cuivre pur, ou en cuivre mêlé d'une certaine quantité d'or ou d'argent, mais trop petite pour qu'il soit avantageux d'en faire le départ.

Le titre d'une monnoie est le nombre qui indique ce qu'elle contient d'or pur ou d'argent pur; ainsi le titre des monnoies de France est 0,9.

DEUXIÈME TABLEAU.

Rapports des Mesures anciennes de France aux nouvelles.

	Valeur en mètre.
Pied de roi.	0,3248
Toise de Paris, 6 pieds.	1,9490
Aune de Paris.	1,888
Perche de Paris, de 18 pieds.	5,8471
Lieue commune de 25 au degré du méridien, de 2280 toises.	4444,0

Arpent de Paris, de 100 perches carrées, vaut en mètres carrés.	3418,9

Solive de charpente vaut 3 pieds cubes, et en décimètres cubes.	102,8318
Corde des eaux-et-forêts, en mètres cubes. . .	3,839
Boisseau de Paris, en litres.	13
Setier de Paris, en litres.	156
Muid de blé de Paris, 12 setiers, en litres. . .	1872
Muid de vin de Paris, en litres.	268,214
Tonneau de mer, en kilogrammes.	979,011
Livre, 2 marcs, 16 onces, en grammes. . . .	489,506
Karat de joaillier, en grammes.	0,21244

Livre tournois, 20 sous, 240 deniers, vaut en franc.	0,98771

TROISIEME TABLEAU.

Mesures, Poids, Monnoies d'Angleterre.

1 ligne anglaise vaut en millimètres	1,116
1 pouce anglais vaut 12 lignes, et en millimètres	25,392
1 pied anglais vaut 12 pouces, et en millimètres	304,704
1 *fathom* vaut 6 pieds anglais, et en mètre .	1,829
1 mille anglais vaut en kilomètre	1,60756

Poids.

1 grain *troy* vaut en milligrammes	64,74
1 *scruple* vaut 20 grains *troy*, et en grammes .	1,295
1 *penny Weight* vaut 24 grains *troy*, et en gram.	1,55376
1 *dram troy* vaut 24 *scruples*, et en grammes .	3,884
1 *once troy* vaut 480 grains *troy*, ou 20 *penny Weight*, ou 8 *drams*, et en grammes . . .	31,078
1 livre ou *pound troy* vaut 12 onces *troy*, et en grammes	372,931
1 *dram avoir du poize* vaut en gramme . . .	1,771
1 once *avoir du poize* vaut 16 *drams*, et en grammes	28,330
1 livre *avoir du poize* vaut 16 onces, et en gram.	453,279
1 *stône* vaut 14 livres *avoir du poize*, et en kilogrammes	6,346
1 *quarter* vaut 2 *stônes*, et en kilogrammes . .	12,692
1 quintal vaut 4 *quarters* ou 8 *stônes*	50,768

Monnoies.

Couronne (*Crown*) à 5 schellings vaut en francs	6,02
Schelling . . . . *id.* . .	1,20
Guinée de Georges III. . . . . . *id.* . .	26,26
Livre sterling. . . . . *id.* . .	25,0875

QUATRIÈME TABLEAU.

Dilatation des Métaux pour chaque degré du thermomètre centigrade, d'après les expériences de F. Berthoud.

Verre	$\frac{1}{90341}$	Cuivre jaune	$\frac{1}{46290}$
Fer recuit	$\frac{1}{74682}$	Mercure (1)	$\frac{1}{4535}$
Or recuit	$\frac{1}{68307}$	Acier battu à froid	$\frac{1}{75091}$
Argent	$\frac{1}{47068}$	Fer battu	$\frac{1}{71809}$
Plomb	$\frac{1}{29021}$	Cuivre	$\frac{1}{52347}$
Acier recuit	$\frac{1}{81176}$	Étain	$\frac{1}{35007}$
Acier trempé	$\frac{1}{72742}$	Platine	$\frac{1}{115000}$
Or tiré à la filière	$\frac{1}{59587}$		

Dilatation de tous les Gaz, suivant M. Gay-Lussac, pour chaque degré du thermomètre centigrade.

Le volume d'un gaz quelconque étant représenté par l'unité, il varie pour chaque degré du thermomètre centigradé de 0,00375 ; cette fraction est à-peu-près égale à $\frac{1}{266}$; elle n'en diffère que de $\frac{1}{283290}$.

(1) Suivant M. Laplace, mercure $\frac{1}{5412}$.

CINQUIEME TABLEAU.

Table de capacités de Calorique.

Eau (pes. spéc. 1) .	1,00	Oxide d'antimoine .	0,147
Oxigène	0,65	Sulfure d'antimoine	0,053
Azote	0,27	Acier	0,106
Air atmosphérique .	0,33	Acide sulfurique de pesanteur spécifique, 1,87 . .	0,334
Charbon	0,126	Acide nitrique de pesanteur spécifique, 1,298 . .	0,661
Soufre	0,169	Alkool de pesanteur spécifique, 0,815	0,668
Platine	0,1294	Huile de lin . .	0,528
Or	0,52	*Id.* d'olive . .	0,307
Argent	0,82	*Id.* de baleine. .	0,500
Mercure	0,0295	Poix	0,492
Cuivre	0,107	Verre blanc . . .	0,193
Étain	0,0537	Chaux vive . . .	0,217
Plomb	0,037	Blé	0,477
Fer	0,117	Orge	0,421
Zinc	0,094	Riz	0,506
Bismuth. . . .	0,043	Lait de vache . .	0,999
Antimoine . . .	0,058	Sang artériel . .	1,030
Carbonate de chaux	0,256	*Id.* veineux. . .	0,892
Glace (eau solide) .	0,550		
Oxide de mercure .	0,050		
Id. d'étain. . .	0,099		
Id. de plomb. .	0,062		
Id. de fer . . .	0,25		
Id. de zinc. . .	0,137		

Rapports des degrés Fahrenheit et Réaumur *au degré centigrade.*

Soient m et n des nombres de dégrés donnés par les thermomètres *Fahrenheit* et *Réaumur*, $\frac{5}{9}(m-32)$ et $\frac{5}{4}n$ seront les nombres correspondans sur le thermomètre centigrade.

SIXIÈME TABLEAU.

Table des Élasticités de la Vapeur aqueuse dans le vide, et à diverses températures, qui diffèrent entr'elles d'une même quantité 6°, 25 (*thermomètre centigrade.*)

(Extrait de la *Bibliothèque Britannique*, vol. 46, an 1802).

Température.	Colonne de mercure soutenue, exprimée en mètre :	Facteurs qui, multipliant chaque terme, donnent le suivant :
0°,00	0,m 0051	1, 47
6, 25	0, 0075	1, 46
12, 50	0, 0110	1, 45
18, 75	0, 0160	1, 44
25, 00	0, 0231	1, 42
31, 25	0, 0327	1, 41
37, 50	0, 0462	1, 39
43, 75	0, 0645	1, 37
50, 00	0, 0888	1, 36
56, 25	0, 1208	1, 35
62, 50	0, 1637	1, 33
68, 75	0, 2171	1, 31
75, 00	0, 2854	1, 29
81, 25	0, 3707	1, 28
87, 50	0, 4773	1, 27
93, 75	0, 6093	1, 25
100, 00	0, 7617	

SEPTIÈME TABLEAU.

Pesanteurs spécifiques de l'Eau distillée à diverses températures, dans l'air et dans le vide.

Poids du décimètre cube d'eau distillée, en	kilogrammes
1°. Au maximum de densité et dans le vide	1,000000
2°. A la température de la glace fondante et dans le vide	0,999872
3°. A 6°, 25 (centigrades), et dans l'air	0,999916
4°. Au maximum de densité et dans l'air	0,998768
5°. A la température de la glace fondante et dans l'air	0,998640
6°. A 6°, 25, et dans l'air	0,998684
7°. A 12°, 5, et dans l'air	0,998064
8°. A 18°, 75, et dans l'air	0,997446
9°. A 25°, et dans l'air	0,996703

Eau de Pluie.

La quantité moyenne d'eau qui tombe chaque année à Paris, répond à une couche de 51 centimètres d'épaisseur, et l'évaporation moyenne répond annuellement à une couche de 87 centimètres.

HUITIÈME TABLEAU.

Pesanteurs spécifiques de Gaz, de l'Eau et du Mercure, en prenant pour unité la pesanteur spécifique de l'Air atmosphérique.

La température est 0°, la hauteur du baromètre 0,m. 76.

Noms des Substances.	Densité.	Poids d'un décimètre cube.
		gram.
Air atmosphérique	1,	1, 2936
Oxigène	1,10359	1, 4269
Azote	0,96913	1, 2536
Hydrogène . . .	0,07321	0, 0947
Ammoniaque . .	0,59669	0, 7718
Acide carbonique.	1,51961	1, 9657
Eau	773,00000	1000, 0000
Mercure. . . .	10463,00000	13535, 5756

Composition de l'Eau. — Composition de l'Air atmosphérique. — Pesanteur spécifique du Gaz aqueux à 100°.

Un volume 1 d'hydrogène et d'oxigène, mélangés dans le rapport de 200 à 100, se réduit en composant l'eau, à 0,005388.

Pour composer 1000 grammes d'eau, ou 1 décimètre cube de ce liquide, au *maximum* de densité, il faut en poids 882,gram819 d'oxigène et 117, gram 181 d'hydrogène (environ huit fois plus d'oxigène que d'hydrogène.)

Un volume 1 d'air atmosphérique est composé de 0,21 d'oxigène et de 0,79 d'azote. Ce rapport est plus exact que celui de 27 à 73 qui est donné page 7, d'après *M. Lavoisier*.

Sous la pression 76 centimètres, les pesanteurs spécifiques de l'air atmosphérique à 0° et 100° de température sont dans le rapport de 1 à 0,7269.

Sous la pression 76 centimètres et à la température 100°, les pesanteurs spécifiques de l'air atmosphérique et du gaz aqueux sont dans le rapport de 1 à $\frac{10}{14}$ (0,7269), ou de 1 à 0,51921 ; sous la même pression et la même température, un décimètre cube de gaz aqueux pèse 0,gram 67165.

NEUVIÈME TABLEAU.

Pesanteurs spécifiques (d'après M. Haüy.)

Eau 1,

MÉTAUX.

Platine purifié et écroui	20,980	Manganèse. . . .	6,850
Or	19,257	Antimoine (du commerce).	6,702
Argent.	10,474.	Urane.	6,440
Mercure	13,536	Molybdène . . .	
Plomb.	11,352	Titane.	4,17
Nikel	9,000	Tellure	6,11
Cuivre (*natif de Sibérie*). . . .	8,584	Chrome	
		Columbium. . .	
Fer.	7,788	Potasse sous forme métallique. . .	0,874
Étain	7,296		
Zinc.	7,191	Rodium *excède*. .	11
Bismuth (fondu) .	9,823	Palladium de 11, 3 à 11, 8	
Cobalt.	8,538	Osmium	
Arsenic (fondu). .	8,308	Iridium (mine). .	19,25

PIERRES.

Diamant.	3,52	Grenat de Bohème. .	4,16
Rubis oriental. . .	4,28	Émeraude	2,77
Topaze orientale . .	4,00	Aigue marine orient .	3,55
Saphir oriental. . .	3,99	Cristal de roche . .	2,65

Suite des Pesanteurs spécifiques (d'après M. Haüy.)

Grés cristallisé de Fontainebleau	2,61	Amiante	0,91
Aventurine	2,65	Talc	2,79
Opale	2,11	Mica	2,7
Perle orientale	2,68	Plombagine	2,09
Agathe orientale	2,59	Ardoise	2,85
Cornaline	2,61	Albâtre	2,73
Serpentin vert	2,89	Marbre (de carare)	2,7
Porphyre rougé	2,76	Pierre à bâtir de Saint-Cloud	2,2
Granit vert	2,88	Pierre ponce	0,91
Pierre d'azur (lazulite)	2,76	Basalte (d'Auvergne)	2,4

Glace (de St.-Gobin)	2,48	Porcelaine (de Sèves) dûre	2,14
Flint-glass	3,33		

Pesanteurs spécifiques (d'après Brisson.)

A la température 16°.

Eau 1,

SUBSTANCES COMBUSTIBLES.

Diamant	de 3,51 à 3,55	Benjoin	1,09
Soufre natif	2,03	Ambre gris	0,92
Soufre fondu	1,99	Camphre	0,98
Houille	1,32	Gomme arabique	1,45
Jayet ou jais	1,26	Huile essentielle de térébenthine	0,87
Succin	1,08	Huile de fleurs d'orange	0,87
Cire à 17°, 5 (centigrade)	0,96	Huile de girofle	1,03
Cire à 106°, (se volatilisant)	0,81	Huiles d'olives	0,91
Résine commune (*poix-résine*)	1,08		

Suite des Pesanteurs spécifiques (d'après M. Brisson.)

BOIS.

Chêne	1,17	Noyer	0,67
Liège	0,24	Sapin	0,55
Orme	0,67	Peuplier	0,38
Frêne	0,84	Gayac	1,33

DIXIÈME TABLEAU.

Pouvoirs refringens de quelques Gaz pour la température 0°, *et la pression* 0,mètre 76.

(Extrait du Mémoire de MM. Biot et Arago, 1806).

Nature du Gaz.	Densité du Gaz, celle de l'air atmosphérique étant l'unité.	Pouvoirs refringens (1) des Gaz, par rapport à leur densité, celui de l'air étant 1.
Air atmosphérique.	1,00000	1,00000
Oxigène.	1,10359	0,86161
Azote.	0,96913	1,03408
Hydrogène.	0,07321	6,61436
Ammoniaque.	0,57669	2,16851
Acide carbonique.	1,15961	1,00476

(1) L'expression du pouvoir réfringent est $\frac{i^2 - 1}{\rho}$, i étant le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction dans le passage du vide au gaz. La densité et la pesanteur spécifique de l'air sont prises pour unité ; ρ est la densité du gaz ; i qui est donné par l'expérience est une fonction de ρ. Cette quantité i est égale à $\sqrt{2}$ ou 1,4142 dans le passage du vide dans l'air ; elle est, d'après Newton, de $\frac{529}{396}$ ou 1,3358 dans le passage du vide dans l'eau.

ONZIEME TABLEAU.

Table des rapports du Sinus d'incidence au Sinus de réfraction, lorsque la lumière passe de l'air dans une substance. Le Sinus d'incidence est représenté par l'unité.

(Extrait des Annales de Chimie, tome LXVI; Mémoire de M. Wollaston, 1802.)

Ordre des pouvoirs de dispersion.	Rapports.	Ordre des pouvoirs de dispersion.	Rapports.
Soufre	2,040	Spath d'Islande. .	1,657
Verre de plomb (un septième de sable).	1,987	Ambre	1,547
		Diamant	2,440
Baume de tolu . .	1,600	Alun	1,457
Huile de sassafras .	1,536	Glace de Hollande.	1,517
Muriate d'antimoine	. . .	*idem*, anglaise .	1,504
Gaïac	1,596	Rubis, spinelle . .	1,812
Huile de girofle . .	1,535	Eau	1,336
Fint-glass	1,586	Acide sulfurique .	1,435
Colophane. . . .	1,543	Alkool	1,370
Baume du Canada. .	1,528	Sulfate de baryte .	1,646
Huile d'ambre . .	1,505	*idem*, de chaux .	1,525
Huile de térébenthine	1,470	Cristal de roche. .	1,547
Copal	1,535	Sulfate de potasse .	1,495
Beaume de capivi .	1,507	Saphir blanc. . .	1,768
Gomme animé . .	1,535	Fluate de chaux. .	1,433

DOUZIÈME TABLEAU.

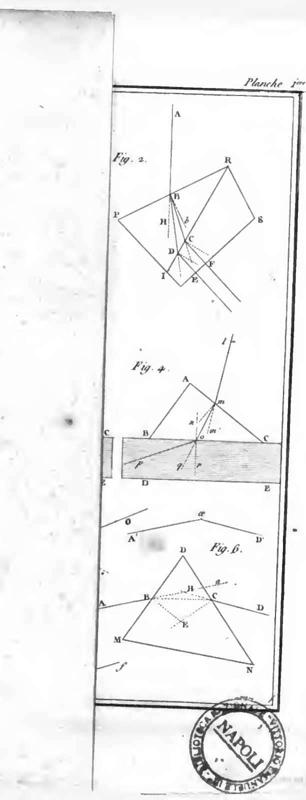
Déclinaisons de l'Aiguille aimantée depuis l'année 1610 *jusqu'en* 1807 (en degré de 360 à la circonférence).

ANNÉE.	DÉCLINAISON.	ANNÉE.	DÉCLINAISON.
1610. . .	8°, 0′ nord-est.	1790 (août)	21°, 52′ nord-ouest.
1640. . .	3 . *id.*	1797. . .	24 76 . *id.*
1664. . .	0 40 . *id.*	1800 (8bre)	22 5 . *id.*
1666. . .	0 0 . nord.	1805 (juin)	21 42 . *id.*
1667. . .	0 15 nord-ouest.	1806 (mai)	21 51 . *id.*
1670. . .	1 30 . *id.*	1807 (8bre)	22 25 . *id.*
1680. . .	2 40 . *id.*		
1691. . .	4 40 . *id.*		
1700. . .	8 12 . *id.*		
1710. . .	10 50 . *id.*		
1720. . .	13 11 . *id.*		
1730. . .	14 25 . *id.*		
1740. . .	15 30 . *id.*		
1750. . .	17 15 . *id.*		
1760. . .	18 30 . *id.*		
1770. . .	19 55 . *id.*		
1780 (xbre)	20 56 . *id.*		

Ces résultats d'observations de la déclinaison de l'aiguille aimantée sont consignés dans un ouvrage publié par *M. Cassini*, en 1791. Les astronomes ont négligé jusqu'à présent d'observer *l'inclinaison*; pour la mesurer, on peut se servir de l'instrument décrit page 234; il m'a donné, pour le complément de l'inclinaison, 22° $\frac{1}{4}$, en novembre 1808.

FIN.




Planche 1ère
Fig. 2.
A
R
B
P
H
b
S
C
D
F
I
E
Fig. 4.
l
A
m
n
m'
B
o
C
p
q
r
D
E
æ
A'
D'
Fig. 6.
D
B
R
C
D
A
E
M
N
f

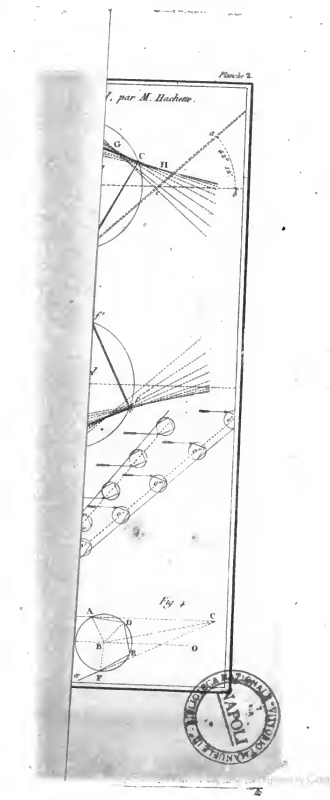

Planche 2.
l, par M. Hachette.
G
C
H
a
42° 12'
b
f'
Fig 4
A
D
C
B
O
E
F
a'



Planche D.

Boussole de Mer.

Echelle de 50 Millimètres pour Mètre

0 1 2 Déc.

P N′ S′ P′

D A C B

Fig. 2.

A

b′

I

30°

Fig. 2.

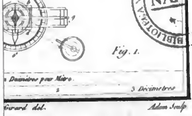
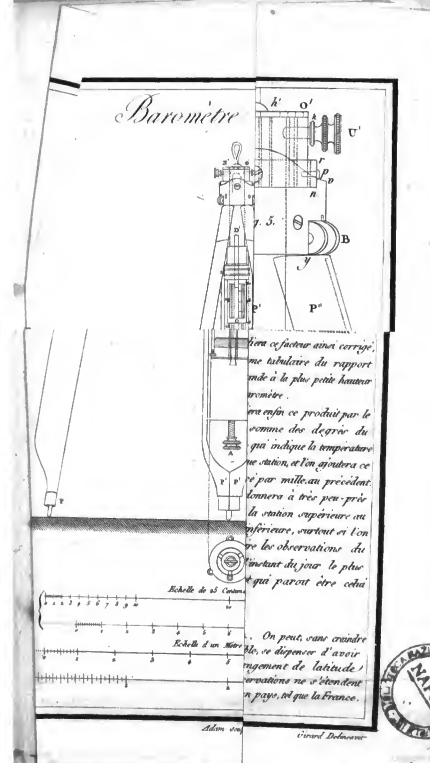


Fig. 1.

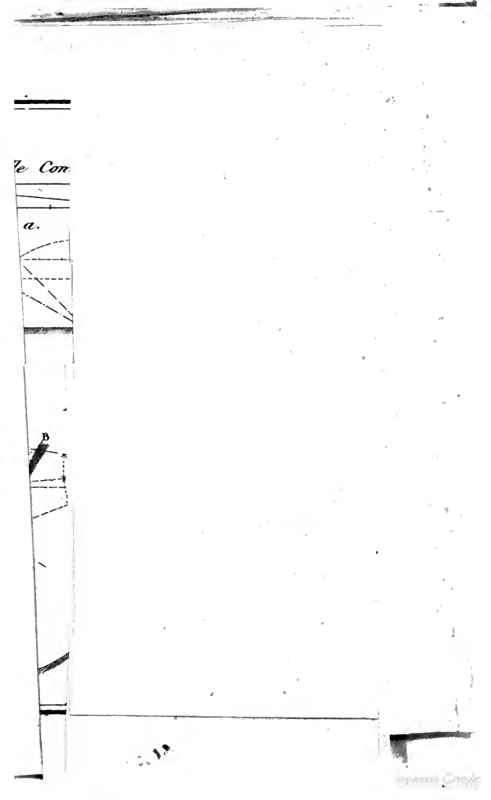
... Décimètres pour Mètre.

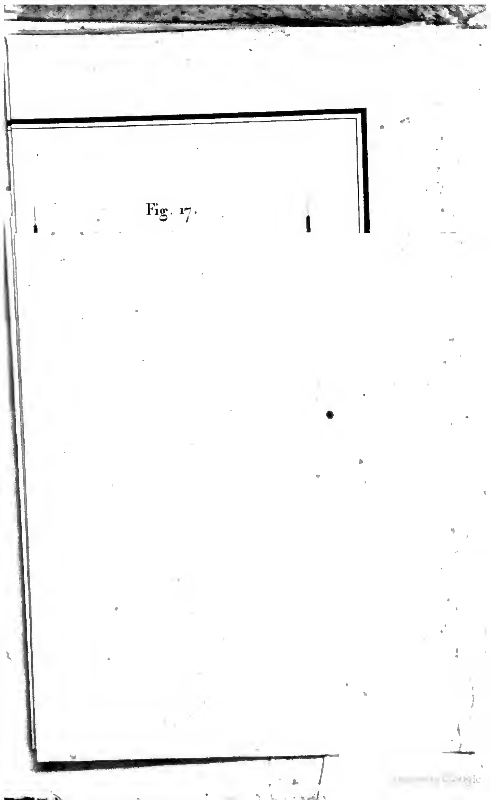
2 3 Décimètres

Girard del. Adam Sculp.



Baromètre
h'
O'
U'
r
p
v
n
g. 5.
B
y
D'
P'
P''
A
P'
P'
tiera ce facteur ainsi corrigé,
me tabulaire du rapport
nde à la plus petite hauteur
aromètre.
era enfin ce produit par le
somme des degrés du
qui indique la température
ue station, et l'on ajoutera ce
é par mille, au précédent.
donnera à très peu-près
la station supérieure au
inférieure, surtout si l'on
re les observations du
l'instant du jour le plus
t qui paroit être celui
Echelle de 25 Centim
Echelle d'un Mètre
On peut, sans craindre
ble, se dispenser d'avoir
ngement de latitude
ervations ne s'étendent
n pays, tel que la France.
Adam sculp
Girard Delineavit


a.
B


Fig. 17.


BIBLIOTECA